الدار العربية للعلوم ناشرون
Arab Scientific Publishers, Inc.

اختراق نظرية داروين

HACKING DARWIN

د. جَيمي مِتزل
JAMIE METZL



ترجمة وتقديم:
د. محمد جياد الأزرقي

اختراق نظرية داروين

HACKING DARWIN

اختراق نظرية داروين

HACKING DARWIN

د. جَيمي مِتزل
JAMIE METZL

ترجمة وتقديم:
د. محمد جياد الأزرقي



الدار العربية للعلوم ناشرون ش.م.ل
Arab Scientific Publishers, Inc. S.A.L

يتضمن هذا الكتاب ترجمة الأصل الإنكليزي

Hacking Darwin:

Genetic engineering and the Future of Humanity

حقوق الترجمة العربية مرخّص بها قانونياً من الناشر:

Sourcebooks, Inc

بمقتضى الاتفاق الخطي الموقّع بينه وبين الدار العربية للعلوم ناشرون، ش.م.ل.

الطبعة الأولى: أيار/مايو 2020 م - 1441 هـ

ردمك 978-614-02-3876-3



عين التينة، شارع المفتي توفيق خالد، بناية الريم
هاتف: 786233 – 785108 – 785107 (1–961+)
ص.ب: 13–5574 شوران – بيروت 1102–2050 – لبنان
فاكس: 786230 (1–961+) – البريد الإلكتروني: asp@asp.com.lb
الموقع على شبكة الإنترنت: http://www.asp.com.lb

facebook.com/ASPArabic
twitter.com/ASPArabic
www.aspbooks.com
asparabic

تصميم الغلاف: **علي القهوجي**

التنضيد وفرز الألوان: **أبجد غرافيكس**، بيروت - هاتف 785107 (1-961+)

الطباعة: **مطابع الدار العربية للعلوم**، بيروت - هاتف 786233 (1-961+)

المحْتويَات

لذكرى أختي الحنون أم النور وعزيزتي جّن وصديقتي نتى،
اللواتي طوى خلل الجينات الوراثية صفحات حياتهن مبكّرا،
فرحلن عن عالمنا وتركننا في حزن عميم.

المترجم

مقدمة المترجم

يطرح المؤلف د. *جَيمي مِتزل* في مقدمة كتابه المكون من أحد عشر فصلًا مجموعة أسئلة موضوعية، «هل أنّني اعتقد أنّ المعرفة، التي جنيناها خلال 150 عامًا الأخيرة في ميدان علم الوراثة، كافية لتغيير بلايين السنوات من تطورنا البايولوجي؟ هل يمكنني أن أراهن حقيقة أنّ التعديلات الوراثية ستساعد في جعل مستقبل أطفالي أفضل صحة وأعلى ذكاء وأشدّ قوة وأكثر سعادة؟ وباعتباري طالبًا في التاريخ، ألم أراهن أنّ البشر المعززين وراثيًا قد يستخدمون قدراتهم المتقدمة للسيطرة على كلّ من حولهم، كما فعلت القوى الاستعمارية بشكل دائم؟ وباعتباري طفلًا للاجئ من أوروبا النازية، هل أنّي مستعد حقًا أن أتقبل فكرة بأنّ في استطاعة الوالدين ويتحتم عليهما، أن يشرعا في اختيار أطفالهم وهندستهم للمستقبل، اعتمادًا على نظريات وراثية ما زالت غير مكتملة؟».

يُبشّرنا المؤلف أنّه بإمكاننا من خلال استعمال هذه التكنولوجيا وأدواتها أن نمحو الأمراض الوراثية تمامًا في المستقبل القريب ونغيّر قدراتنا على المستوى المتوسط ونحسّنها، وربّما سنحضّر أنفسنا للعيش على أرض حرارتها أعلى من الدرجات المعتادة أو ننتقل للسكن في الفضاء أو على سطح كوكب آخر لفترة أطول. ومن خلال إجادة استعمال الطرق لتعديل جيناتنا الوراثية، ربّما سيُنظَر إلى هذا باعتباره أفضل اختراع في تاريخنا البشري، والمفتاح لسبر غور احتمالات أخرى لا يمكن تصوّرها، بواسطة سبل عديدة لخلق مستقبل جديد بكامله.

يناقش في الفصل الأول المنافع التي أثبتتها فحوص الجينات وعلاقتها بالقضاء على مرض تاي ساكس. بدأ الباحثون وواضعو السياسات يدعون إلى «اختبارات جينية موسعة» لتحديد كافة الجينات، التي تحمل أمراضًا من تلك، التي وردت في **قائمة مَندَل** والمخاطر، التي تنجم عنها على

حياة الأطفال. وحين يصبح فحص الجينات قبيل الزرع فرصة متوفرة لكافة المواطنات والمواطنين، فإنّ المنافع الاجتماعية ستفوق الكلف المالية. تعرّض لولادة الطفلة الأولى، التي تمّ إخصاب بويضة أمها بحيمن أبيها في دورق مختبري، علمًا بأنّ عمرها قد تجاوز 40 عامًا وتزوجت وخلفت توأمًا. تناول بشكل تفصيلي مقنع كلفة الإخصاب ومسح الجينات للتخلص من الأمراض الوراثية، وتوصل إلى استنتاج بأنّ الكلفة العالية تبرّر ولادة أطفال أصحاء لا يعانون من الأمراض ولا يعيشون فترة قصيرة مليئة بالآلام المبرحة. يعتقد المؤلف أنّ تلك الكلفة ستنخفض بمرور الوقت ومن خلال زيادة الإقبال على استعمال هذه الوسائل التكنولوجية الصحية الحديثة.

وبهذه المناسبة كشف بحث حديث عن أنّ الأطباء سيتمكنون يومًا ما من «إيقاف» الجينات التي تُسَبِّب أمراض القلب والأزمات القلبية. وقال باحثون من جامعة شِفيلد إنّهم اكتشفوا جينًا يسمى TWIST بالطبقة الداخلية لشرايين القلب يلعب دورًا مهمًا بهذا الشأن. وأضاف الباحثون أنّهم وباستهدافهم ذلك الجين، وربما إيقاف نشاطه، فإنهم قد ينقذون بذلك حياة كثيرين بمنع تراكم الدهون والكولسترول في أوعيتهم الدموية في الأخير. وما يزال ذلك البحث بالغ الأهمية مستمرًا بتمويل من مؤسسة القلب البريطانية. وعلّق على ذلك الأستاذ *بول إيفانز*، الباحث الرئيسي في الدراسة، بقوله «سنحدد دواء يستهدف الجين الذي يساهم في تراكم المواد الدهنية بالشرايين. ونرى أنّ إيقاف هذا الجين سيجعل الشرايين في القلب أكثر تسريبًا لتدفق الدم، ممّا سيمنع تراكم الكولسترول وحدوث انسدادات تؤدي إلى نوبات قلبية وسكتات دماغية».

أكّد *إيفانز* أنّ الهدف الرئيسي له ولفريقه هو إيجاد طريقة يمنعون بها تلك الحالة التي تعرف بـ «تصلب الشرايين»، وهي الحالة التي تتراكم فيها كتل من الدهون والكولسترول في الشرايين، حيث تعمل تلك التراكمات على تضييق الأوعية الدموية، وهو ما يعني قلة الدم المتدفق من خلال تلك الأوعية في نفس الوقت، ومن ثم تزايد ضغط الدم الذي يضع بالتبعية مزيدًا من الضغط على عضلة القلب.

يطالعنا المؤلف في بداية فصله الثاني فيقول، إنّ المهتمين بقضايا الجينات يشقوّن طريقهم في تسلق سلم التعقيد، عن طريق فهم الأنظمة البايولوجية للكائنات الحية البسيطة، التي تنمو وتتكاثر بسرعة مثل الخميرة وذباب الفاكهة والديدان والضفادع والفئران والأسماك الملونة بهيئة الحمير الوحشية. وكلها جميعًا لها نفس عدد الجينات، التي نمتلكها وأنظمتها مشابهة لأنظمة أجسامنا. نظرًا

لأنّ كافة الأشياء الحية تحمل صفات أجدادها، فإنّ الجينات في هذه المخلوقات تشابه، أكثر أو أقل، ما لدى الإنسان اعتمادًا على الفترة الزمنية، التي انسلخنا فيها عنها. «فمثلًا البشر وذباب الفاكهة يعودان لنفس الأصل منذ حوالى 700 مليون سنة مضت. انسلخنا عن الفئران، وهي الأقرب إلينا، منذ 80 مليون سنة فقط... وبناء عليه فإنّنا نتشابه مع ذباب الفاكهة بنسبة 60% من الحمض النووي، وبنسبة 92% من الحمض النووي لدى الفئران».

ثمّ يضيف بأنّ الأدوات الجينية جعلت ممكنا للباحثين أن يشغّلوا أو يوقفوا جينات متعددة. ولكن في الحقيقة، جعلهم يفهمون كيف تساهم الجينات في الصفات الوراثية البشرية المعقدة، التي تتطلب عملية كبيرة من أجل أن تندمج وتتفاعل. إنّ دراسات ارتباط الجينوم بشكل واسع GWAS بدأت تفعل ذلك بالضبط.

فضلًا عن إدراك التنوع الوراثي بين السكان، البرنامج الفريد من نوعه سيزود الأطباء بمعرفة عالية الجودة تمكنهم من توفير عدة خيارات تشخيص وعلاج بالإضافة إلى تقديم برامج مخصصة ووقائية مصممة وفقًا للتركيب الجيني الفريد للشخص. ولكن لا توجد إمكانية بأنّ منع أو معالجة خلل وراثي ستكون نهاية رحلتنا في عالم الجينات. في الحقيقة ستكون فقط البداية. فتكنولوجيا الاقتران pairing ووجود المعلومات التحليلية والآلات القادرة على التعلم والذكاء الاصطناعي، ستزيد بدرجة كبيرة التحوّل ليس في إنجاب الأطفال ولكن في طبيعة ما نريد إنجابه منهم، حسب قول المؤلف.

بالنسبة لسكان الدول العربية، يمثل إدراك التنوع الوراثي تحديًا كبيرًا، وذلك بسبب الافتقار إلى الجينوميات المرجعية عالية الجودة. سيقوم برنامج كهذا بإثراء البيانات الحالية من خلال إنتاج الجينات المرجعية المحددة للمواطنين ودفع الاكتشافات العلمية على نطاق واسع. كما يهدف برنامج الجينوم لتحويل وتحسين الإدارة الصحية، ومراكز البحوث والابتكار المدفوع ببيانات ما يعرف بـ «أومكيس». سيجمع البرنامج اثنتين من أكثر التقنيات تطورًا في العالم وهما تسلسل الحمض النووي والذكاء الاصطناعي. ويعتمد البرنامج على نقاط القوة والمبادرات الستراتيجية الفريدة من نوعها، وذلك من منطلق حرص الدولة، إن كان متوفرًا أصلًا، على الارتقاء بالرعاية الصحية، حيث تطرح مشروعات يقودها الابتكار في هذا المجال على مدار الأعوام.

نقل المؤلف في مطلع فصله الثالث حوارًا خياليًا كان سيجري عام 2035 بين سيدة وطبيبة في عيادة للإخصاب المختبري. كانت السيدة قد زارت العيادة قبل 10 سنوات فأخذوا منها 10 بويضات. لقحوا إحداها وزرعوها في رحمها، وجمّدوا البقية للحفاظ عليها إلى مناسبة أخرى. ولدت للسيدة بنت جميلة اختارت هي وزوجها جنسها ولون شعرها ولون عينيها. جاءت السيدة بعد 10 سنوات تطلب زرع إحدى بويضاتها لأنّها تريد طفلًا آخر. أخبرتها الطبيبة أنّ بالإمكان تذويب 6 أجنة لتختار واحدًا منها، ثمّ مضت لتخبرها عن التقدم الهائل، الذي حصل في هذا الميدان خلال الحقبة الماضية. شرعت تطرح عليها المواصفات الجديدة، التي يمكن أن تختارها للوليد القادم، وهي أن يكون خاليًا من الأمراض الوراثية وطويل القامة وذو شخصية واثقة ومزاج طيب ويتمتع بقدرات عقلية عالية ومستوى ممتازًا من الذكاء ويعيش لفترة أطول وذو مناعة جسمية حصينة تحميه حتى من مرض الإيدز.

مسألة هذه السيدة وتجميد بويضاتها لا شكّ موضوع حساس وشخصي. غير أنّه في مصر تحوّل إلى موضوع عام. أعلنت سيدة من القاهرة عن إجرائها عملية لتجميد البويضات للمحافظة على فرصها في الإنجاب. أثار هذا الإعلان عاصفة من الانتقادات على مواقع التواصل الاجتماعي. وكما متوقع تدخلت الجهات الدينية لتدلي بدلوها، إذ أجازت دار الإفتاء المصرية الأمر ما دام من سيلقح البويضة هو رجل تتزوج منه بعقد شرعي. والحقيقة هي أنّ السيدة المذكورة قد أعلنت الأمر أملًا في إلهام فتيات أخريات للحفاظ على فرصهن في الإنجاب مع تأخر سن الزواج في مصر.

تشير التقارير أنّ الصين تسعى لتكون رائدة في مجالات الإخصاب وتعديل الجينات. وبصدد مسألة زيادة المناعة من الأمراض الخطيرة مثل مرض الإيدز، أعلن العالم الصيني *هَيْ جيانكوي* في أكتوبر عام 2018 عن نجاح تجربته في تعديل الحمض النووي لأجنة لإكسابهم مناعة ضدّ الإصابة بالفيروس المسبب لمرض المناعة المكتسب المعروف باسم الإيدز. صرّح هَيْ لوسائل الإعلام آنذاك أنّ التوأم «**لولو ونانا**» ولدتا بصحة جيدة، وأنّه يُعدّ ورقة بحثية لاستعراض تفاصيل التجربة والنتائج. لكنّ هذه الورقة لم تُنشر أبدًا، بل اختفى هَيْ نفسه في يناير الماضي، ولم يُعرف شيء عن الطفلتين أو تُنشر عنهما أيّة أخبار أو صور.

هذا وأعلن **معهد ماسَچوسِت للتكنولوجيا** MIT حصوله على نسخة مسربة من مسودة الورقة البحثية، التي كتبها هَيْ وصادرتها السلطات الصينية. ترجع النسخة لشهر يناير الماضي،

وهي الفترة التي اختفى فيها العالم الصيني. شكّل المعهد فريقًا من أربعة خبراء، هم فقيه قانوني، وطبيب تلقيح اصطناعي، وعالم أجنة، وأخصائي تعديل الحمض النووي. خلُص الفريق، الذي عكف على دراسة الورقة البحثية منذ بداية العام، إلى أنّ *هَيْ* وفريقه تلاعبوا في نتائج الدراسة وروّجوا لنجاح غير حقيقي.

غير أنّه وخلال إعدادي لهذه المقدمة، وبحسب وكالة أنباء الصين الجديدة (شينخوا)، قضت المحكمة بتغريم الأستاذ الجامعي، *هَيْ جيانكوي*، 3 ملايين يوان «بسبب ممارساته الطبية غير المشروعة، وحكمت على شخصين آخرين متورطين في القضية بالسجن لعامين و18 شهرا على التوالي». وتقترح الصين وضع قواعد أكثر صرامة فيما يتعلق بتعديل الجينات بعد تلك الواقعة، وفقًا لوكالة أنباء بلومبرگ الأميركية.

في الصين أيضًا بدأت امرأة مقاضاة مستشفى بسبب رفض الأطباء تجميد بويضاتها بسبب قانون معمول به في البلاد ينظم الإنجاب المختبري ويقصره على المتزوجات. حاولت المرأة التي تبلغ من العمر 31 عامًا تجميد بويضاتها العام المنصرم بسبب انشغالها في العمل لكنّ الأطباء جادلوها ونصحوها بإنجاب طفل بدلًا عن ذلك. وقبل 6 سنوات أعلنت المغنية الصينية الشهيرة شو *جِنگلي* أنّها سافرت إلى الولايات المتحدة وجمدت 9 من بويضاتها عندما كان عمرها 39 عامًا. وساند كثير من رواد **موقع ويبو** للتواصل الاجتماعي في الصين ما فعلته المغنية. ويبدو أنّ بكين لقد فرضت قيودًا أكثر تشددًا في السنوات الأخيرة على إجراءات دعم النساء المتأخرات في الإنجاب وكذلك عمليات الإنجاب المختبري.

أطنب المؤلف في هذا الفصل في الحديث عن معدل الذكاء IQ من بين الصفات المشار إليها في أعلاه واستشهد ببيان نشره 52 أستاذًا مشهورًا في صحيفة الوول ستريت جورنَل في شهر ديسمبر من عام 1994. أكّدوا فيه أنّ الذكاء يمكن أن يُحدّد ويمكن اختباره بدقة وبأنّه في غالبيته يعود إلى الجينات الوراثية وأنّ معدّل الذكاء IQ مرتبط بقوة، ربّما أكثر من أيّ من الصفات البشرية الأخرى القابلة للقياس، وله نتائج تربوية ومهنية واقتصادية واجتماعية. بالرغم من ذلك فإنّ *هَرنِستين ومَوري* كانا من أوجه عدة رسولين معيبين قدّما اقتراحات استخدمت لأغراض سياسة شنيعة، بأنّ فكرة معدّل الذكاء تقوم على عنصر حقيقي يمكن قياسه ويعتمد على عنصر جيني

موروث، من الصعب إنكاره. وصلت الفكرة حدّ المطالبة بالمحافظة على مستوى خزين الذكاء الأمريكي وحمايته من المهاجرين والزواج المختلط!

اختتم المؤلف فصله الثالث بالقول، إنّ الدراسات للكشف عن جينات الطول والذكاء وأنماط الشخصية، تظهر أنّنا سنزداد قدرة على فكّ ألغاز المكوّنات الجينية الخاصة بصفاتنا البشرية الحميمية المعقدة بشكل يزداد دقة بمرور الوقت. وحتى لو لم نستطع كشف الجينات الأساسية لتلك السمات لعدة حقب، فإنّنا لا نحتاج الفهم الكامل لاستخدام معرفتنا المحدودة المتزايدة عن الجينات في مجالات الصحة والرعاية والإخصاب بمزيد من الثقة. سنتحوّل تدريجيًا من رعايتنا الصحية العامة التي تعتمد على معدلات السكان إلى الرعاية الصحية الدقيقة، التي تقوم على الاستجابة الاستباقية إلى استعداداتنا الوراثية. وربّما أكثر أهمية، سنبدأ في دمج تنبؤاتنا الوراثية في عملية اتخاذ القرارات الخاصة بالإنجاب، حسب رأيه.

كرّس المؤلف فصله الرابع لمناقشة فكرة استخدام الخلايا الجذعية الجنينية لتحقيق أنواع من المعجزات. ذكر الباحثان *تومسُن* و*گيرهارت* أنّه يمكن أنّ تُستعمل هذه الخلايا Stem Cells في إصلاح إصابات العمود الفقري وعضلة القلب إثر النوبات القلبية ومعالجة الأجهزة المصابة بالتلف نتيجة المرض أو التعرّض للإشعاعات النووية. كما يمكن أن تُستعمل لزيادة إنتاج الأنسولين في الجسم لمعاجة مرض السكّري، كما معالجة خلايا الدماغ المصابة، التي ينجم عنها مرض شلل الرعاش، وتغيير جينات خلايا الدم لمقاومة الإصابة بمرض الإيدز HIV.

أشار المؤلف إلى أنّ العالمين، «*ياماناكا* و*گوردُن* نالا جائزة نوبل عام 2012 لاكتشافاتهما، التي يمكن أن تحدث ثورة في علم الأحياء، بما فيها قدرة الإنسان على خلق البويضات والحيامن». غير أنّه يعود ليذكّرنا أنّه بالرغم من قلة نسب النجاح في توليد خلايا البويضات والحيامن الذكورية iPSCs وإخضاعها لعملية الإنجاب المختبري، فإنّ التجربة مع ذلك كانت إنجازًا مذهلًا. لقد جرى استخدام خلايا الجلد لتوليد فئران صحيحة البنية، حسب قوله. ثمّ يمضي ليذكر أنّه في عام 2014، استطاع عالمان، بريطاني وإسرائيلي، من استنساخ التجربة، لكنّهما استخدما بدل ذلك بويضات وحيامن مستخلصة من جلد البشر البالغين. كانت نسبة النجاح منخفضة للغاية أيضًا. في شهر سبتمبر من عام 2018، أعلن *سَأيتو* وفريقه أنّهم استخلصوا خلايا البويضة من دم البشر وحضنوها في مبايض صغيرة مستخلصة من أجنة الفئران.

ثمّ ينتقل إلى خلق الأجيال فيذكر أنّه يبرز جيل جديد من البشر في الولايات المتحدة كلّ 28 عامًا. ولكن هناك طريقة يمكن فيها خلق 56 جيلًا بشريًا خلال الفترة المشار إليها. «وعليه فبدلًا من 3.5 جيلًا بشريًا في القرن الواحد، يمكن الحصول على 200 جيلًا في نفس الفترة. وهذا العدد من الأجيال البشرية يعادل نفس العدد الذي بدأ منذ اخترع الإنسان العجلة. ومن خلال عمليات تسريع تسلسل الجينوم وتحليل الأنظمة البايولوجية لاتخاذ القرارات بدلًا من الطريقة القديمة القائمة على الخطأ والصواب، يتمّ تغيير الجيل من خلال عملية انتقاء وراثي عند البشر خلال فترة 6 أشهر!». ثمّ يستدرك قائلًا: «ولكن لماذا يلجأ البشر في المستقبل إلى النظر في أمر مرعب كهذا، أمر يحطّ من قيمة الإنسان ويدفعه للتعامل مع الأجنة البشرية وكأنّها تغييرات وراثية قمنا بها في ميدان تكاثر الدجاج وتربيته؟».

يذكّرنا المؤلف في نهاية فصله بأنّ متوسط الذكاء IQ عند *آينشتاين* كان 160 درجة. قام أستاذا جامعة هارفرد، *كارل شُلمَن ونِك بَوسترُم* ببحث مثير للتفكير بعنوان «اختيار الأجنة لأغراض التعزيز الإدراكي»، حول رفع متوسط الذكاء الممكن اعتمادًا على مزاوجة mating الأجنّة بين بعضها البعض قبل زرعها، بحيث يصل المتوسط إلى 1000درجة!»... سيكون هناك عباقرة في الرياضيات وموسيقيون بارعون ومؤلفون كبار ومن يكتبون برامج كومبيوتر متقدمة. سيقوم هؤلاء بإحداث ثورة في طرق حياتنا وتفكيرنا، أكثر ممّا فعله *آينشتاين* و*كُنفوشيوس* و*مَري كَري وإسحق نيوتِن* وشكسبير و*دَيفِد هَسِلهوف*». ثمّ يمضي ليستشهد بما كتب هَسو، «بإمكاننا أن نتصور قدرات علمية تمنحنا الحدّ الأقصى من استعادة الصور والكلمات والتفكير الفائق السريع والقدرة على إجراء الحسابات الدقيقة وتصور الأبعاد الهندسية الحادة حتى وإن كانت ذات أبعاد عميقة، وتخلق لدينا القدرة على إجراء التحليلات المعقدة والمضي في خطوط متوازية من التفكير في ذات اللحظة». وماذا عن الجوانب الأخلاقية لهذه الممارسات؟

يقول الأمريكي *إيلون ماسك* إنّ برنامجه المسمّى **نيورالينك** يسعى «لحفظ النوع البشري من خلال مواصلة التفوق على الآلات خارقة الذكاء». وأضاف أنّ الهدف بعيد المدى للبرنامج هو خلق تكامل بين الدماغ البشري والذكاء الاصطناعي. وأوضح أنّ الروبوتات الخارقة ستهيمن في المستقبل على حياتنا وأنّ البشر سوف يحتاجون للتفكير مثل الآلات لتجنب تدميرهم من قبلها. وهو يرى أنّ الروبوتات ستصبح فائقة الذكاء والتطور ومتقدمة جدًا وأنّها ستحاول الإطاحة بصانعيها من

البشر. يرسم *ماسك* صورة قاتمة لمستقبل البشر إذا لم ندخل المنافسة مع الروبوتات بتوصيل أدمغتنا بالكومبيوتر. ويقول «إذا بقينا على قيد الحياة فسوف نكون مقيدين وربما يتم إقصاؤنا إلى محميات نائية مثل الشمبانزي».

ويمضي ليحذر من أنّ الذكاء الاصطناعي ينمو بوتيرة سريعة وأنّ مساهمة الذكاء البشري في المستقبل ستكون قليلة جدًا. يقول المؤلف، على سبيل المثال، إنّ الآلات تعمل بسرعة تريليون بايت في الثانية، بينما يعمل الدماغ البشري عادة بسرعة 10 بايت. ويرى أنه سباق غير متكافئ ومن شأن ربط الدماغ رقميًا بأجهزة الكومبيوتر أن يحدث نوعًا من التكامل بين الاثنين. ويشير موقع نيورالينك على الإنترنت إلى أنّه يطوّر روابط برودباند broadband كبيرة القدرات لربط الدماغ بالكومبيوتر. ويقول *ماسك* إنّ البرنامج سيركز أولًا على التطبيقات الطبية لكنّه سيطور الرقائق الإلكترونية الدماغية للوصول إلى تكامل الدماغ مع الذكاء الاصطناعي.

أمّا الروس فيتخذون موقفًا مغايرًا، إذ أعلن ممثلو المجتمع العلمي الرّوسي عزمهم توجيه خطاب لوزيرة الصحة الروسية يطالبونها فيه بفرض حظر على الاختبارات والتجارب المتصلة بعمليات تعديل الجينات الوراثية. كان ذلك في موقف استدعاه إعلان عالم الأحياء الروسي *دينيس ريبريكوف*، استعداده إجراء اختبارات تعديل الجينات الوراثية للأجنة، وتكرار الاختبارات التي قام بها العالم الصيني هَيْ *جيانكوي* عام 2018. أكد *ريبريكوف*، تكرار التجربة لوجود متطوعين أبدوا استعدادهم للخضوع والمشاركة في عمليات تعديل الجينات الوراثية. قال علماء روس إنّ مثل تلك الاختبارات «لاأخلاقية»، لأنّ الحديث يدور عن تجارب على البشر. وذكَّروا العالم *ريبريكوف* بأنّ مركز العلوم الوراثية التابع لأكاديمية العلوم الروسية أعلن مرارًا أنّ ممارسة مثل تلك العمليات أمر لا يمكن السّماح به، وهو غير مقبول. وفي الوقت نفسه أشار العلماء الروس إلى أنّ التعديلات الجينية تقنية واعدة يمكن استخدامها في علاج الأمراض الوراثية والأورام السّرطانية، لافتين إلى مختبرات حول العالم تعمل على تصنيع تلك التقنيات، وعبّروا عن رفضهم بصورة خاصة للتّعديلات الوراثية على الأجنة، محذّرين من أنّها قد تؤدي إلى عواقب وخيمة.

تمّ في عام 2011 اكتشاف طريقة أخرى لمسح الجينات ومراجعتها، سُمّيت تالِن TALEN. بدت هذه الطريقة كأنّها السحر واستُخدِمت لتعديل عدد من الأمراض الوراثية بكفاءة عالية وفاعلية وخلق فئران وبقر وخنازير وماعز وأغنام وحتى قردة، بجينوم معدّل. وحين تحسّنت العملية

استُخدِمت في إزالة أمراض العيون الوراثية لدى الفئران والجرذان، وأصبحت احتمالات استخدامها لمعالجة الأمراض البشرية واعدة للغاية. وفي الوقت الذي كانت فيه طريقتا ZFN وTALEN الموصى بهما من قبل ويتطلبان شهورًا لتصميم كلّ منهما، فإنّ تكنولوجيا **كرِسپر** تكون دائمًا على نفس الشاكلة لكنّها تتطلب أيامًا قليلة لوضعها، أضف إلى ذلك أنّ كلفتها قليلة نسبيًّا.

يقول المؤلف في فصله الخامس إنّه بالرغم من نقاط القوة الساحقة، فإنّ لنظام **كرِسپر** بعض الجوانب السلبية أيضًا. استخدم نظام **كرِسپر** لاستهداف مجموعة من الجينات التي تحمل شفرة أكسيد البوليفِنول PPO، وهو إنزيم يستجيب إلى عملية الأكسدة oxidization. الجين المعدل الذي سمّي «التفاح القطبي» جعل قطع التفاح المتروكة في الهواء لا يصبح لونها بنيًّا، كما هو معروف، لأنّ العلماء استخدموا **كرِسپر** «لتعطيل» الجين الذي يتحكم بإنتاج الإنزيم الذي يجعل لون قطع التفاح بنيًّا. وينطبق الأمر على الفطر. كما استُعمِل جين مقاوم للفايروسات المدمرة لنبتات البَپايا قزحية اللون Rainbow Papaya وثمارها اليوم مطروحة في الأسواق، وكذلك البطاطا الفطرية المقاومة لتغيّر اللون بعد قطعها. كما حصلت شركة دِل مونت على موافقة الجهات المعنية لإنتاج ثمار الأناناس وردية اللون المعدلة، والتي تحتوي على مادة لايكوپِن المضادة للسرطان، ولا تحملها ثمار الأناناس الاعتيادية. كما تمّ إنتاج الذرة الشمعية waxy corn الغنية بمادة النشأ، وأيضًا تمّ إنتاج القمح الذي زيدت فيه كمية الفايبر وخلا من مادة الگلوتِن، التي تسبب حساسية عند بعض الناس. كما عُدّلت جينات الطماطة لكي تنمو في المناطق الدافئة. كما عُدّلت أيضًا بذور الكاملينا لتعطي مزيدًا من أحماض أوميگا 3، أي الأحماض الدهنية النافعة. وتمّ استخدام الجينات المعدلة لخلق أصناف من الرز وغيره من المحاصيل الأخرى ذات القدرة على التكيّف والنمو بسرعة وتحتاج إلى مياه أقلّ. وبحسب رأي صاحب الأعمال الخيرية *بِل گيتس*، «إنّها المنقذ للحياة على نطاق واسع». كلّ هذه تمت بفعل استخدام تكنولوجيا **كرِسپر**.

لقد جُرّبت أدوات مسح الجينات وتعديلها بشكل واسع على الحيوانات، وخاصة البقر والخنازير. وقام أحد العلماء بتعديل جينات الدجاج ليضع بيوضًا لا تخلق الحساسية عند بعض الناس، لكي تستمع ابنته الصغيرة المحرومة من أكل البيض بسبب ذلك. وفي جامعة هارفرد عمل جورج چَيرچ في تطوير مشروع معقد للغاية، هدفه إمكانية استعمال **كرِسپر** لمضاعفة الجينوم الآلي لإعادة الحيوانات المنقرضة إلى الحياة مرة أخرى، ومنها حيوان الماموث كثيف الصوف، وفي

نفس الوقت إحداث تغييرات عديدة لجينات الفيل الآسيوي. يقول المؤلف، «إنّ تناولنا للألبان والجبنة والمحاصيل والفاكهة المذكورة أعلاه يعني أنّنا ندخل في أجسامنا الجينات، التي عدّلها نظام **كرِسپر**».

يكرّس المؤلف القسم الأخير من فصله الخامس للحديث عن «تطبيقات استخدام هذا النظام وزيادة الطلب على التكنولوجيا المتقدمة بهدف القضاء على الأمراض الوراثية القاتلة، وسيجعلنا هذا قريبين من دخول عصر الجينات». مؤخرًا، أعلن باحثون في مجال تقنية **كرِسپر** للتعديل الوراثي عن اكتشاف السبب الذي يجعل بعض الناس لا يشعرون بالألم. ويقولون إنه خطوة نحو تعديل الجينات التي ستمنع الألم الشديد الناجم عن مرض السكري أو السرطان أو حوادث السيارات دون تعريض المصاب لخطر إدمان المواد الأفيونية. وفي تجربة أخرى، صمم باحثو **جامعة تافتس** الأمريكية، خلايا «بيتا» المسؤولة عن إفراز الأنسولين بالپنكرياس، بحيث تزرع تحت الجلد، ويتم التحكم فيها بالضوء، لتعمل على إنتاج أكثر من ضعفين إلى ثلاثة أضعاف المستوى المعتاد لهذا الهرمون، وذلك لتعويض انخفاض إنتاجه، أو تقليل استجابة الجسم له الموجودة لدى المصابين بمرض السكري. وقال باحثون من جامعة شِفيلد إنّهم اكتشفوا جينًا يسمى TWIST بالطبقة الداخلية لشرايين القلب يلعب دورًا مهمًا بهذا الشأن. وأضاف الباحثون أنّهم وباستهدافهم ذلك الجين، وربما إيقاف نشاطه، فإنهم قد ينقذون بذلك حياة كثيرين بمنع تراكم الدهون والكولسترول في أوعيتهم الدموية عند الكبر. وما يزال ذلك البحث «بالغ الأهمية» مستمرًا بتمويل من مؤسسة القلب البريطانية. وعلّق على ذلك الأستاذ *پول إيفانز*، الباحث الرئيسي بالدراسة، بقوله «سنحدّد دواء يستهدف الجين الذي يساهم في تراكم المواد الدهنية بالشرايين. ونرى أنّ إيقاف هذا الجين سيجعل الشرايين في القلب أقلّ «تسريبًا»، ما سيمنع تراكم الكولسترول وحدوث انسدادات تؤدي إلى نوبات قلبية وسكتات دماغية». في أكتوبر عام 2018، أعلن العالم الصيني هَيْ جيانكوي عن نجاح تجربته في تعديل الحمض النووي لأجنة فتاتين لإكسابهما مناعة من الإصابة بالفيروس المسبب لمرض المناعة المكتسب المعروف باسم الإيدز.

افتتح المؤلف فصله السادس بالحديث عن الجينات فذكر، «كما بدأنا نفهم، إنّها مجموعة من التعليمات للخلايا تخبرها بإنتاج پروتينات تقوم بمهام مطلوبة. بالرغم من أهمية ما تقوله هذه الجينات، فإنّ ما تفعله الخلايا هو الأكثر أهمية في الواقع. وعليه، حتى لو وجدنا جينًا معيّنًا يقوم

بعمل نَحُسّ أنّه جيد أو سيئ، فإنّنا لا نحتاج بالضرورة أن نغيّر ذلك الجين وما يقوم به». ثم يمضي ليقترح أنّه يكون من الأفضل في بعض الحالات أن نتوخى الأمن والسهولة وقلة الكلفة بواسطة تطوير دواء يجعل الخلايا تعمل ما نريده، رغم وجود الطفرة «السيئة» أو أنّ الجيدة منها لا وجود لها.

واعتمادًا على ما صرّح به جورج چَرچٍ من جامعة هارفرد، فإنّ القائمة الأولية للجينات المنفردة، التي يمكن التلاعب بها لغرض الحصول على منافع خاصة، «تشمل الأمراض المتعلقة بزيادة قوّة العظام LRPS والعضلات الهزيلة MTSN وقلة الشعور بالألم SCN9A وقلة إفرازات الجسم للروائح الكريهة ABCC11 ومقاومة الفايروسات CCR5, FUT2 وقلة الإصابة بأمراض الشريان الإكليلي PCSK9 وقلة الإصابة بألزهايمر APP وقلة الإصابة بالسرطان GHR, GH وقلة الإصابة بمرض السكّري صنف SLC30AB 2 وقلة الإصابة بالسكّري صنف IFIHI 1».

يخبرنا المؤلف عن دراسة العلماء لدودة اسمها سي - *اِلگنز*، التي لا يتجاوز حجمها حجم فاصلة الكتابة، وتبلغ دورة حياتها أسبوعين فقط. يوجد لديها جهاز عصبي بدائي ولها دماغ وتتكاثر بشكل سريع، ولربّما هي أبسط الكائنات، التي تشترك مع البشر في العديد من جيناتها. وضع العلماء خارطة لدماغها من خلال رسم بياني فيه مفاتيح للاتصال تظهر كيف يعمل دماغ هذه الدودة. في خطوة لمحاكاة سي - *اِلگنز* في هويتها الافتراضية، قام الباحثون في مشروع **أوپن وورم** بترجمة نوترُنات neutrons هذه الدودة إلى برامج كومبيوتر لتحريك كائن آلي robot صغير. حين أعطيت الإشارة بدأت الدودة الآلية وأجزاؤها تتحرّك بدقة متناهية مدهشة. جدير بالذكر أنّ دودة *سي - اِلگنز* تمتلك دماغًا مكوّنًا من 302 خلية، مقارنة بالدماغ البشري، الذي يحتوي على 100 بليون خلية.

ومع هذا الفارق الشاسع تمكنت الأجهزة المعنية من التلاعب بهذا الكمّ الهائل من خلايا دماغ الإنسان في عمليات سمّوها «غسل الدماغ». لجأ أكثر من 1000 مواطنًا أمريكيًا من المعارضين للحرب في فيتنام إلى السويد، وكانوا على أمل المكوث فيها حتى تنتهي الحرب. اعتقد الرئيس *لِندُن جونسُن* أنّ الاتحاد السوفيتي له دور كبير في تحريك المعارضين هؤلاء. تحرك رجال تابعون للمخابرات الأمريكية إلى هناك، فاندسوا وسط المعارضين، وبدأوا يقنعونهم برفض الحرب على فيتنام ليخترقوا حياتهم، وهناك بدأت عملية ممنهجة في تشكيكهم في كلّ شيء وأيّ شيء.

كان هدف المخابرات واضحًا، وهو جمع المعلومات وتخريب المجموعات من الداخل بعد اختراقها، وحينها بدأوا باختراق المجموعات التي أنشئت لممارسة نشاطات معارضة مثل حركة طلاب من أجل مجتمع ديمقراطي وحركة الفهود السود، وتوسع البرنامج ليشمل جماعات تحرير المرأة وجماعات يهودية أخرى. ساعد المندسون أيضًا في إثارة المخاوف بين المجتمع الأمريكي في السويد، لدرجة أنّ البعض اعتقد أنّه تعرض لعمليات غسيل دماغ ممنهجة، من فرط الضغط النفسي والعصبي الذي كانت تمارسه هذه العناصر على المعارضين، لدرجة أنّ البعض لا يزال يعاني من تبعات هذه الفترة رغم مرور أكثر من 50 عامًا عليها.

وحول نفس الموضوع، اعترضت شركة فيَسبُك على أداء **شركة السبنر الإسرائيلية** ورفضت استخدامها منصة فيَسبُك للتواصل الاجتماعي من أجل تحقيق أغراضها. هذا وتحصل شركة السبنر على مقابل مادي من أجل «التأثير في اللاوعي» لمستخدمين مستهدفين من خلال تعريضهم المستمر لحملات معدة خصيصًا للتأثير في اللاشعور عبر الإنترنت ومخفية في «محتوى تحريري». أقرت الشركة الإسرائيلية بأنّها قادرة على عمل «غسيل دماغ»، لبعض الأشخاص من أجل القيام بعدة أشياء، منها التوقف عن التدخين وفقدان الوزن والتقدم للزواج والمبادرة لممارسة الجنس مع شركائهم أكثر، والاهتمام بزراعة الثدي.

اختتم المؤلف فصله السادس بإثارة عدد من الأسئلة فذكر، «أليس نمو عضو الإنسان الكامل خارج جسمه اعتمادًا على خلايا مأخوذه منه، وزرعه فيما بعد في جسمه، أفضل من زرع عضو حيوان عُدّلت جيناته؟ ماذا لو جعلنا الأعضاء البشرية تنمو داخل الحيوانات لغرض زراعتها في أجسام البشر فيما بعد؟». ثم يخلص للقول بأنّ «تحقيق ذلك ليس بالأمر الهيّن، لكنّه الخطوة الأولى للحصول على أجنّة **كِميرا** من خلايا كائن تنمو داخل كائن آخر، وتُنقل حين تكتمل فيما بعد لزرعها في جسم الكائن الأول».

يناقش د. *جَيمي مِتزل* في الفصل السابع قضايا الموت والحياة والخلود، فيعيد إلى أذهاننا الأسطورة السومرية عن الملك *گِلگامِش* وكيف فُجِع بموت صديقه العزيز *إنكيدو*، وهو في عزّ الشباب. خرج الملك يبحث عن شجرة الخلود وعاد مقتنعًا، «أنّ كلّ نفس لا بُد ذائقة الموت». تُعدّ هذه الملحمة الرافدينية، أهم وأكمل عمل إبداعي أسطوري شعري، كتبت سطوره منذ العهد السومري في المرحلة الواقعة بين 2750 و2350 قبل الميلاد عن الملك *گِلگامِش* الذي عاش في

مدينة أوروك «الوركاء» الواقعة في وادي الرافدين على الضفة الشرقية لنهر الفرات. لقد تشكلت حول شخصه باقة من الحكايات الأسطورية والبطولية، التي تسرد أخبار أعماله الخارقة، وسعيه المستميت إلى معرفة سر الحياة الخالدة.

لقد تطورت هذه الملحمة في إبداعات شعرية كُتبت على الرقم الكتابية المسمارية منذ العهد السومري، ثم تلتها محاولات في العهود الأكادية والحثية والبابلية والحورية، وكان ظهورها بشكل كامل في نهاية الألف الثاني قبل الميلاد، وهي الصيغة التي كشفتها أعمال التنقيب الأثري من مكتبة قصر الملك *آشور بانيبال* في مكتبة نينوى.

لقد كُتب عن هذه الملحمة دراسات لا تعد ولا تحصى، وأُشبعت نقدًا وتمحيصًا ومعالجة، ومع ذلك ما زلنا نتابع بين الحين والآخر دراسات جديدة عنها، ونقرأ روايات وقصص ومعالجات إبداعية مستمدة من وحيها، إنّ السّر في هذا الاهتمام والإعجاب يعود إلى أنّ هذه الملحمة ما زالت متلفّعة بغطاء الخيال، ومعتمرة طاقية الأسطورة، وتشخّص واقع الإنسان ومشكلاته الأبدية، التي يتمحور حولها السؤال الأزلي، ما الغاية من الحياة؟ ولماذا نموت بعد أن جئنا إلى ساحة الحياة ومشينا في دروبها ؟ هذه الأسئلة لا إجابة قاطعة حولها. الأدب الحقيقي هو الذي يعالج ما يعجز عنه العلم، ويواجه أزمات الإنسان النفسية، ويداوي آلامه، ويضيء آماله. من هنا يمكننا أن نعرف سرّ هذا الاهتمام العالمي بملحمة *كِلگامِش* التي تحلّق بنا في فضاءات بعيدة عن الواقع المأساوي، إلى عالم مثالي زاخر بالخير والحق والجمال.

لقد مزجت هذه الملحمة الحقيقي بالأسطوري، والواقع بالخيال، وكانت واقعيتها مزخرفة بالحكمة، وخيالها متسربل بالرمزية. هي واقعية من حيث تناول الإنسان حياة وموتًا، وهي رمزية لأنّ أحداثها المفرطة ذات دلالات عميقة، وأسطورتها ذات مرام بعيدة. حول هذه الفكرة يقول د. *علي القاسمي*، «جَزَعُ *كِلگامِش* بعد موت صديقه الحميم أنكيدو، هو شعور ينتاب كلّ إنسان لدى فقدان عزيز عليه. أمّا إطاحة *كِلگامِش* للأسوار الحصينة، ونزاله مع الثور السماوي الهائج، وصراعه مع الجنّي **خمبابا**، الذي اعترض طريقه في غابة الأرز، إنمّا ترمز إلى هدم الإنسان للحواجز التي تعيق تواصله مع أخيه الإنسان، وإلى الصراع بين الخير والشر».

كما استشهد المؤلف بدراسات قدمت اقتراحات قد تضمن للشخص حياة أطول وأكثر سعادة. من هذه الاقتراحات، 1- القيام بنشاطات طبيعية معتدلة، منها القيام من أماكنهم والتحرّك كلّ 20

دقيقة، أو ما شابهها. لا يعني ذلك ذهابهم إلى مراكز التدريب الرياضي gyms، بل الذهاب إلى المدينة أو مركز القرية لقضاء بعض حاجاتهم. 2- وضع أهداف لحياتهم، أو ما يسميه اليابانيون إيكِگاي.3- أداء بعض الشعائر الدينية اليومية لتخفيف ضغوط الحياة النفسية. 4- تناول مقدار معتدل من السعرات الحرارية يوميًا. 5- التركيز على التغذية النباتية، التي تتكوّن في العادة من الحبوب والدرنات، مثل البطاطا واللفت والبنجر، والجوز والأوراق الخضراء والبازلاء. 6- استهلاك كمية محدودة جدًا من الكحول، والأفضل تحاشيه تمامًا. 7- المساهمة في النشاطات الروحية والدينية مع الآخرين. 8- الحرص أن تكون الحياة داخل الأسرة حافلة بالنشاطات والتعاون المشترك. 9- الارتباط الملتزم بحلقات من الأصدقاء الأوفياء ومشاركتهم ومساعدتهم في مختلف النشاطات الاجتماعية بشكل منتظم.

وضعت الفرنسية *فلورَنس سولاغي* كتابًا عالجت فيه موضوع الشيخوخة، الذي كان قد انطلق من جذور أسطورية إغريقية ضاربة في القدم جسّمها حلم الخلود، حيث تمثلت أولى مراحل إخضاع ظاهرة الشيخوخة لقوانين البحث العلمي في مساءلة مفهوم الشيخوخة نفسه ومراجعة ما كان في اعتبار المسلّم به في هذا الموضوع، بأنّ الشيخوخة ليست قدرًا محتومًا ولا ظاهرة شاملة لكلّ كائن حيّ، فكم من الكائنات ما لا يرتفع احتمال موته بتقدمه في العمر ولا تدركه الشيخوخة وإن لم ينج من الموت يومًا.

تطرقت سولاغي إلى أنّه، «تراءى للإنسان الباحث عن الخلود اقتباس هذه الخصائص الجينيّة المقاومة للشيخوخة والمطيلة للعمر من تلك الكائنات العضوية، فأقبل على دراستها واختبارها حتى يدرك سرّ طول أعمارها بتحديد الجينات أو الجين المسؤول عن طول العمر وعن الشيخوخة في كنف الصّحة والعافية، بعدما تمّ التوصل ضمن هذه المقاربة الجينية إلى أنّ الشيخوخة ليست إلا نتيجة لتراكم طفرات جينية». أشارت المؤلفة إلى أنّ التقيّد بسلوك صارم ونظام غذائي متقشّف طيلة الحياة من أجل زيادة غير مضمونة في العمر قد لا تتجاوز بضع سنوات، قد لا يكون أمرًا مغريًا، ممّا دفع الإنسان إلى العودة إلى الحلّ الطبّي بإنتاج جزيئات يحاكي مفعولها السريع مفعول التقشف الغذائي البطيء، وإلى الحلول البيولوجية المتمثلة في زرع البكتيريا المعوية، التي سمّتها (النبيت الجرثومي).

ترى *سولاغي* أنّ الحلّ، الذي يلوح في المستقبل، «يبدو متمثلًا في الطبّ التجديديّ الواعد بإعادة الشباب إلى الجسم من خلال إعادة إنتاج خلاياه المختصة بوساطة إعادة برمجة الحمض النووي للخلايا الجذعيّة، مما قد يسمح بإنتاج قطع غيار بشرية حسب الطلب. ومن شأن هذا الطبّ أيضًا أن يغنينا عن التدخل الجراحي». كما لفتت المؤلفة إلى أنّ «هذه التطورات الطبية جعلت الإنسان يعانق الخيال العلمي من جديد ليتصوّر مقاربة جديدة للشيخوخة وطول العمر تتجاوز المفهوم التقليدي للإنسان إلى كائن هجين مطوّر سيكون خليطًا من الآلة والإنسان (الإنسان البيوني أو البيوتقني) الذي تستبدَل أعضاؤه التالفة بأعضاء مصنّعة/مخلّقة مختبريًّا كلما احتاج ذلك».

وبخصوص طول الحياة والمعمّرين، أعلنت موسوعة **غِنِس** للأرقام القياسية أنّ الياباني *شِتِسِتو واتانابه*، الذي يبلغ من العمر 112 عامًا و344 يومًا، هو أكبر رجل معمّر في العالم. ووفقًا لشبكة سي أن أن الأمريكية، فقد تسلم واتانابه لقبه رسميًا من **غِنِس**، في دار لرعاية المسنين يقيم فيه في مسقط رأسه. وقال *واتانابه*، المولود في الخامس من مارس 1907 في نِگاتا، شمال غربي اليابان، إنّ سر طول العمر هو «عدم الغضب والحفاظ على ابتسامة دائمة». وأشار إلى أنّه يحب الحلوى جدًّا، وقد عمل في مجال زراعة قصب السكر لعدة سنوات، قبل أن ينتقل للعمل في مكتب زراعي حكومي حتى تقاعده، وخدم أيضًا في الجيش عام 1944، قرب نهاية الحرب العالمية الثانية.

يُذكر أنّ صاحب اللقب السابق، الياباني *ماسازو نوناكا*، توفي الشهر الماضي عن 112 عامًا و266 يومًا.

وتعتبر اليابانية *كانيه تاناكا* أكبر معمرة في العالم في صفوف الجنسين، وقد احتفلت الشهر الماضي ببلوغها 117 عامًا. وبحسب وكالة الصحافة الفرنسية، فإنّ متوسط العمر في اليابان هو من الأعلى في العالم. وتضم البلاد أكثر من 70 ألف معمّر تجاوزوا سن المائة، بينما يصل عدد السكان الإجمالي إلى نحو 126 مليون نسمة. أمّا العمر القياسي المطلق في صفوف الرجال فهو 116 عامًا، وكان مسجلًا باسم الياباني *جِرومون كيمورا* الذي توفي عام 2013 بعد احتفاله ببلوغه 116 عامًا. وتفيد موسوعة **غِنِس** بأنّ الرقم القياسي لأطول عمر يمكن إثباته رسميًا مسجل باسم الفرنسية جين كالمَيه، التي توفيت عام 1997، عن 122 عامًا و164 يومًا.

ناقش المؤلف في فصله الثامن أخلاقية هندسة الجينات، فاستعرض ما استطاع العلماء تحقيقه منذ تاريخ بعيد وكيف نجحوا نجاحًا باهرًا في تحسين المحصول الزراعي والنسل الحيواني

بعد تجارب كثيرة ومضنية استخدموا فيها مبادئ الهندسة الوراثية وعلم الجينات. أسهمت تلك الدراسات كثيرًا في تحسين الزراعة والصناعة والاستفادة من الكائنات الحية. وقد تطورت هذه التجارب لتطال جسم الإنسان ولعبت دورًا مهمًا في اكتشاف العديد من الأمراض الوراثية وأسبابها وطرق معالجتها، فجنت البشرية فوائد جمة من هذه التكنولوجيا في الوقاية والعلاج.

لكن تجارب الباحثين لم تتوقف عند هذا الحد، فها نحن الآن إزاء ثورة في علم الأحياء، وهي تقنية تغيير الجينات أو ما يسمى بتحسين النسل و(البشر المعدلون وراثيًا). وهو ما أثار قلق ومخاوف العديد من المنظمات العلمية، التي حذرت من التلاعب بحياة البشر في هذه التجارب التي تتجاوز الاعتبارات الأخلاقية والإنسانية. كما انتقدت أيضًا منظمات سياسية وإعلامية وقضائية ودينية هذه الأبحاث المزمع إجراؤها والتي تقول إنّها تضع البشر محل فئران التجارب لمصلحة بشر آخرين.

في سياق متصل نجح العلماء للمرة الأولى في رسم خريطة «لمفاتيح التحكم» الجزيئية التي يمكنها فتح أو إغلاق جينات بعينها داخل الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين (دي أن إيه) في أكثر من 100 نوع من الخلايا البشرية وهو إنجاز يكشف عن مدى تعقد المعلومات الوراثية والتحدي الخاص بتفسيرها. ففي دورية نيچر Nature، كشف الباحثون النقاب عن خريطة ما يعرف باسم «الجينوم الأعلى» إلى جانب معلومات تتعلق به تقع في نحو 20 صفحة. يجيء هذا الجهد العلمي ضمن برنامج بحثي للحكومة الأمريكية أطلق عليه اسم **برنامج خارطة طريق الجينوم الأعلى** الذي كلّف 240 مليون دولار وانطلق عام 2008 واستمر عشر سنوات.

اختتم المؤلف فصله الثامن بالإشارة إلى مقدّمة كتاب عن فكرة الإنسان فوق العادي، السوپرمان، للفيلسوف الألماني *فرِدرِك نيچه*، الذي ذكر ما معناه أنّ الإنسان ما سقط على الأرض متكاملًا، كما يدّعي الكتاب المقدّس، لكنّه بدلًا من ذلك كان نتاج عملية تطوّريّة، وأنّنا في وضعنا الحالي نمثل خطوة في طريق ذلك التطوّر. ثمّ يمضي المؤلف للقول، «إنّ مستقبل هندسة الجينات وبطرق شتى هو مستقبل البشرية. وإذا أردنا لمستقبلنا الازدهار فيجب أن نتمسّك بها. ولكي ننقذ أنفسنا ممّا سنقترفه من مخاطر، يجب أن تخضع هذه الهندسة لنظام صارم».

يناقش المؤلف في الفصل التاسع كيف أنّ البيئة والمحاصيل الزراعية المعدّلة وراثيا (محاصيل الجيمو) والإجهاض والنقاشات الدائرة حول هندسة الجينات، تظهر أنّ المجتمعات

باختلاف تاريخها وحضاراتها وضغوطها الاقتصادية ونظمها السياسية، تستجيب بشكل مختلف للتكنولوجيا الجديدة وكيف تتفاعل معها. وبطبيعة الحال، تقود هذا الفروقات إلى اختلافات واسعة قانونية وتنظيمية حول العالم بأسره.

يشيد المؤلف بأوروپا وتقدّمها العلمي وانفتاحها الفكري، لكنّها من ناحية أخرى تسمح لنفسها أن تتقبل أفكارًا وتذعن لوجهات نظر مبنية على اساطير وقائمة على خرافات أكل الدهر عليها وشرب. ومثال ذلك توقيع 10 آلاف شخصا في فرنسا على عريضة تطالب الحكومة للتدخل في ما سمته «أطفال الجيمو»، إشارة إلى الأطفال المعدلين وراثيا وايقاف استخدام **كرِسپر - كاس9**. برز النشاط المعادي للجيمو في أوروپا أكثر من أيّ مكان آخر. «في عام 2016 أشار 84% من مجموع السكان الأوروپيين أنّهم سمعوا عن غذاء المحاصيل النباتية المعدّلة وراثيا، وأنّ 70%توصلوا إلى أنّ تغذية الجيمو غير طبيعية في الأساس. اعتقد 61% منهم أنّ تطوير محاصيل الجيمو يجب أن يوضع لها حدّ، وذكر 59% أنّ غذاء الجيمو غير مناسب لاستهلاك البشر».

يخبرنا المؤلف أنّه حين ازدادت الضغوط على **الاتحاد الأوروپي** أدرك قادة البلدان هناك وجود صدام بين الرأي العام من جهة والتنافس بين العلوم والاقتصاد من جهة أخرى. وهو الأمر الذي خلق موقفا لا يمكن الدفاع عنه. «وفي خطوة للهروب من ضغوط الرأي العام، اتفق وزراء البيئة عام 2013 على أنّ البلدان الأعضاء في الاتحاد، يمكن لها أن تقرّر منفردة إنْ كانت تودّ وضع قيود على منتجات الجيمو أم لا، لأيّ سبب من الأسباب». كان ذلك استجابة للرأي العام أكثر منه استجابة للعلوم، فكانت النتيجة أنّ 17 بلدًا أوروپيًّا، قرّرت منع زراعة محاصيل الجيمو اعتبارًا من عام 2015. في شهر يوليو من عام 2018، قررت المحكمة العليا الأوروپية، وهي محكمة العدل للاتحاد الأوروپي، أنّ جينات المحاصيل المعدلة بواسطة التقنيات الجديدة مثل **كرِسپر** يجب أن تُعامل معاملة محاصيل الجيمو الأخرى وتخضع لنفس التقييدات الصارمة.

جدير بالذكر، أنّ علماء أمريكيين استخدموا تقنية **كرِسپر** لتعديل جينات مريض وعلاجه من عمى ليبر الولادي، في تجربة رائدة، ما يفتح المجال لدخول أدوية جديدة تعمل على تعديل الحمض النووي. هل يمكن أخيرا إعادة البصر إلى من فقده بالتلاعب بموروثاته الجينية؟ في محاولة للإجابة عن هذا السؤال، استعان أطباء من معهد أوريگُن الأمريكي للصحة والعلوم لأول مرة بتقنية **كرِسپر** لتعديل جينات مريض وعلاجه من العمى، فحقنوا ثلاث قطرات من سائل يحتوي على قطع حمض

نووي معدل باستخدام **كرِسپر** في عينه أملا في علاج حالة وراثية نادرة تسمى «عمى ليبر الولادي»، الذي يسبب فقدان البصر منذ الطفولة.

ونقل تقرير نشره موقع «مرصد المستقبل» عن أسوشَيتد پرس تصريحا أدلى به چ*الز ألبرايت*، الرئيس العلمي لشركة إديتاس الطبية، وهي إحدى شركات التقنية الحيوية التي طورت العلاج. قال، «لدينا القدرة على إعادة البصر لمن فقده منذ طفولته، وسيفتح هذا المجال لدخول أدوية جديدة تعمل على تعديل الحمض النووي». وعلى الرغم من أنّ العلاج الوراثي الاعتيادي قادر على علاج بعض الحالات الوراثية باستبدال الطفرات الوراثية بدلا من تعديلها، فإنه ليس فاعلًا في المصابين بعمى ليبر الولادي، إذ يصعب استبدال الجين المسؤول عن المرض بسبب كبر حجمه، ممّا دفع الأطباء إلى الاستعانة بتقنية كرِسپر لتعديل الطفرة الجينية.

ونقلًا عن المصدر في أعلاه، قال *إرِك پَرس*، الطبيب في مستشفى ماسَچوسِت لطب العين والأذن وأحد المشاركين في المشروع، «أثر تعديل الخلية دائم وستبقى الخلية بعدها على قيد الحياة». وبحسب التقرير، على الأطباء الانتظار شهرا للتأكد من نجاح التجربة الأولى إذ يخطط الفريق لتعديل جينات 18 مريضا من الأطفال والبالغين إن نجحت.

في الفصل العاشر، الذي خصصه المؤلف *مِتزل* للسباق العالمي في مجال الذكاء الاصطناعي والجينات، طرح عددًا من الأسئلة فحواها، هل أنّ الآباء والأمهات في كوريا الجنوبية وأمكنة أخرى مِنَ الراغبين في إرسال أطفالهم إلى مدارس التعليم المكثف/المركّز، راغبون في اختيار الأجنّة المعزّزة لهذا التعليم والنجاح المرتقب الذي ينشده أولئك الأولياء؟ إذا كان باستطاعتهم أن يختاروا الأجنة، هل سيكونون مستعدين لقبول تعديل تلك الأجنة لرفع احتمالات الإصابة بالأمراض الوراثية تماما، وفي ذات الوقت تعزيز قدرات الأطفال للتنافس في المستقبل في جانب أو جوانب عديدة أخرى؟ إذا كان هؤلاء الأولياء الذين يبذلون الجهود العالية ويتحملون الكلفة الباهظة لتأمين المنافع لأطفالهم بعد الولادة، فهل ستكون خطوة كبيرة أن يقوموا بذلك ويوّفروا لهم المستلزمات النافعة قبل الولادة؟

ثمّ أشار إلى الأدلة على التزام الصين في كسب هذا السباق في علم الجينات المتقدم والطب الشخصي في كلّ مكان. ذكر أنّ الحكومة الصينية أعلنت حديثا عن خطتها لتأسيس قيادة وطنية تتولى أمور الطبّ الدقيق مثلا، وهو جهد تقازمت أمامه مبادرات إدارة *أوباما* المحدودة، التي جاءت

إدارة *ترامب* فعرقلتها أو ألغتها بالكامل. رغم أنّ الشركة الأمريكية Illumina حافظت على موقعها كقائدة في صنع الأدوات المتقدمة لوضع تسلسل الجينات، فإنّ الصين أصبحت وبشكل متسارع القوة المسيطرة على جمع البيانات الهائلة، التي يمكن أن تدفع إلى المرحلة القادمة لفهم كيفية عمل الجينات عن طريق تحليل تلك البيانات.

بسبب الاستثمارات الهائلة في العلوم والقواعد الصناعية، فإنّ الولايات المتحدة والصين ما زالتا في صراع متزايد لأجل الفوز في ميداني الاقتصاد والعلوم لتكونا مركز ذلك في المستقبل. ستؤثر هذه المنافسة على تقدّم التكنولوجيا وإحداث ثورة في ميداني الذكاء الاصطناعي والجينوم بطرق متسارعة. «في عصر الذكاء الاصطناعي، فإنّ احتكار هذا الصراع بين المتنافسين الأمريكيين والصينيين أمر لا يمكن الحيلولة دونه»، حسب ما صرّح به *كاي فو لي*، مؤسس شركة Sinovation Ventures التكنولوجية، التي تتخذ بَيجينگ مقرا لها، وهو الذي شغل قبل ذلك منصب الرئيس الإداري لشركتي مايكروسوفت وگوگِل. أضاف *لي* يقول، «لقد بدأ هذا الصراع فعلًا». ثمّ يمضي المؤلف ليستشهد بما كتبت *أليور پاولز وپراثيما فِدراتي* حديثا، «فإنّ العلاقة الأمريكية الصينية سوف لن تُقرر بملكية صناعات القرن العشرين، ولكن بزيادة السباق في الجينات وابتكارات الكومپيوتر، التي ستقود هذا السباق الاقتصادي في المستقبل».

لعل مستوى ما يجري من السباق هذه الأيام لتطوير لقاح ومن ثم علاج لفايرُس الكورونا، خير دليل مشابه للسباق الذي ركّز عليه المؤلف في الفصل العاشر. فوسط تسابق عالمي، الصين تبدأ تجارب سريرية على لقاح كورونا المستجد. بدأت الصين المرحلة الأولى من تلك التجارب، بحسب ما أظهرت السجلات، فيما يتسابق علماء العالم على العثور على طريقة للتغلب على الفايرُس القاتل. ويأتي ذلك بعد ما ذكر مسؤولو صحة أمريكيون في وقت سابق أنّهم بدأوا تجربة لتقييم لقاح محتمل في مدينة سياتل. وبحسب سجل التجارب السريرية في الصين بتاريخ 17 مارس، فقد بدأت الجهود الصينية لإنتاج لقاح في 16 مارس وهو نفس اليوم الذي أعلنت فيه الولايات المتحدة عن بدء التجارب، ويتوقع أن تستمر حتى نهاية العام. وصرح موظف مشارك في المشروع الذي تموله الحكومة لوكالة فرانس پرس، «بدأ المتطوعون للمرحلة الأولى من التجارب في تلقي اللقاح». وأضاف أنّه سيتم اختبار المشاركين الذين تتراوح أعمارهم ما بين 18 و60 عامًا، في ثلاث

مجموعات، حيث سيتم إعطاؤهم جرعات مختلفة. وجميعهم من سكان مدينة ووهان وسط الصين، التي ظهر فيها الفايرُس القاتل أول مرة أواخر العام الماضي.

ومع انتشار وباء كوفيد - 19 وتكثيف الحكومات إجراءات الحماية، تعمل شركات الأدوية ومختبرات الأبحاث حول العالم بكلّ جهدها في محاولة التوصل إلى لقاح. ولا توجد حاليًا أيّة لقاحات أو علاجات معتمدة للفايرُس الجديد الذي أدى حتى الآن إلى وفاة الآلاف من الناس. وتأتي الإعلانات عن تجارب اللقاح وسط تصاعد الخلاف بين الولايات المتحدة والصين بشأن الوباء، حيث أثار الرئيس *ترامپ* غضب بَيجينگ بالحديث عن «الفايرُس الصيني». ونشرت صحيفة «گلوبال تايمز» الوطنية الصينية مقالة رأي قالت فيها، «إنّ تطوير لقاح معركة لا تستطيع الصين تحمل خسارتها». إلا أنه يتوقع أن يستغرق التوصل إلى لقاح وقتًا، وقد يستغرق اللقاح الأمريكي المرشح عامًا آخر إلى 18 شهرًا قبل أن يصبح متاحًا.

ويمرّ العلاج المضاد للفايرُسات «رَمَديسفير» الذي تصنعه شركة «گيلياد» التي مقرها الولايات المتحدة، في المراحل النهائية من التجارب السريرية في آسيا، وقال الأطباء في الصين إنه أثبت فعاليته في مكافحة المرض. لكنّ التجارب العشوائية فقط هي التي ستسمح للعلماء بمعرفة ما إذا كان هذا العلاج مفيدا حقا أو ما إذا كان المرضى سيتعافون من دونه.

يختتم المؤلف فصله العاشر بالقول أنّه، «سيكون من الحماقة الخطيرة أن نعتقد أنّ الثورة الجينية مع كافة احتمالاتها العظيمة من جانب والخطيرة من جانب آخر، ستجري بطريقة متناغمة غير تنافسية وفي أجواء غير التي عهدناها. الحقيقة هي أنّنا سنرى مستوى من التنافس لم نشهده من قبل، وستزداد حدّة هذا التنافس والنتائج المترتبة عليه خلال عمليّات تطوير التكنولوجيا».

إذا استطعنا التوّصل إلى اتفاقية تنظم هندسة الجينات البشرية، مثل الاتفاقية التي توصلنا إليها في عدم انتشار الأسلحة النووية، فسنكون لعبنا دورًا مزدوجًا صعبًا. أوّلًا، كمناصرين لتطبيقات العلوم المسؤولة من أجل المصلحة العامة. وثانيا، وفي نفس الوقت السلطة، التي تمارس دورا محدودا في فرض التقييدات بشأن المسافة، التي تمضي فيها تلك النشاطات قبل أن توقف عند حدّها. الفشل في وضع معيار عالمي لهندسة الجينات البشرية بوجود هذه الثورة في التكنولوجيا، سيتحوّل إلى سباق دولي للتسلح الجيني IGAR، حسب رأي المؤلف.

ننتقل الآن إلى الفصل الأخير من الكتاب، الذي خصّصه *مِتزل* للنظر في مستقبل البشرية. وكما هو الحال بالنسبة للسباق المذكور أعلاه، فإنّ التنافس العالمي في ميدان الجينات وبالأحرى السباق العالمي للتسلح بالجينات، له احتمالات عدة، إمّا لتحسين حياة الناس أو إلحاق الأذى بهم. كلا الاحتمالين يمثل قدرات تكنولوجية تمّ تطويرها في البلدان المتقدمة جدّا، فأصبحت مرغوبة ومطلوبة في كافة أنحاء العالم، المتطلعة إلى امتلاكها. إنّ امتلاك السلاح النووي من قبل أحد البلدان قد يزيد من قوة ذلك البلد، لكنّ امتلاكه أصلًا من قبل عدد كبير من البلدان، فأمر يهدّدنا جميعًا. ينطبق نفس المنطق على هندسة الجينات والاحتمالات، التي يمكن أن توفرها لمساعدة الإنسانية بشكل عامّ. غير أنّ سباقًا غير مقيد للحصول على الجينات وتعديلها يمكن أن يلحق أضرارًا جمّة بهذا العالم.

يرى المؤلف أنّه لو استطعنا التوصّل إلى رأي مُشترك حول الحقوق، التي يجب أن تُحمى وما هي سبل المحافظة عليها، فإنّ وجود هيكل تنظيمي عالمي متناغم، سيجلب الكثير من المنافع. إضافة إلى اختزال إمكانية الصراع وتجريد الإنسان من إنسانيته خلال عمليات التجريب، فإنّ هذا الهيكل سيُسهّل التعاون العالمي ويُقلل من كلفة فرض القيود ويُعجّل في خلق بيئة للتعاون من أجل المنفعة البشرية العامة.

لم يتحدث المؤلف عن الأوبئة، التي تقتل الناس أكثر من الحروب. ورغم ذلك، فمن غير المرجح أن تمثل الأوبئة الطبيعية تهديدات وجودية لأنّ الناس عادة لديهم مقاومة للمرض، وسوف تكون ذرية الناجين أكثر مقاومة، كما أنّ الطفيليات لا تحبذ أن تمحوا مضيفيها. وهذا هو السبب في أنّ مرضا كالجدري قد تحول من مرض قاتل إلى مرض مزمن وقت انتشر في أوروپا. لا نستطيع الآن جعل المرض أكثر شرًّا وهناك واحد من الأمثلة الأكثر شهرة وهو كيف يمكن لإدخال جين إضافي في جدري الفئران أن يجعله أكثر فتكا وقادرا على إصابة الأفراد الملقحين. وقد أظهرت الأبحاث الأخيرة على إنفلونزا الطيور أنّ العدوى من مرض يمكن أن يُعزّز عمدًا.

في الوقت الحاضر يعتبر خطر الإفراج عن شيء مدمر عمدا منخفضا، ولكن كلما كانت التكنولوجيا الحيوية أفضل وأرخص، فإنّ أكثر الجماعات سوف تقدر على جعل الأمراض أسوأ. معظم الأبحاث التي أجرتها الحكومات بشأن الأسلحة البيولوجية تبحث عن شيء يمكن السيطرة عليه، لأنّ محو الإنسانية ليس من المفيد عسكريّا، ولكن هناك دائمًا بعض الناس الذين قد يرغبون في القيام بأشياء لأنّها ممكنة، بينما البعض الآخر يبحث عن أغراض أعلى. على سبيل المثال، حاول

انصار **جماعة أوم شينريكيو** في اليابان التعجيل بنهاية العالم باستخدام أسلحة بيولوجية بواسطة هجومهم الناجح بغاز الأعصاب في محطة القطارات. بعض الناس يعتقدون أنّ الأرض تكون أفضل حالًا من دون البشر!

يبدو عدد الوفيات من الأسلحة البيولوجية وتفشي الأوبئة متوازنا. وبالنظر إلى الأرقام الحالية، فإنّ خطر وباء عالمي من الإرهاب البيولوجي يبدو صغيرا جدا، ولكنّ الحكومات قد قتلت عددا من الناس أكبر بكثير من الإرهابيين بالأسلحة البيولوجية. قد يكون عدد الضحايا وصل إلى 400 ألف شخصا بسبب برنامج biowar الياباني وحده في الحرب العالمية الثانية. وكلما أصبحت التكنولوجيا أكثر قوة، وأكثر شرّا يصبح تصنيع مسببات الأمراض أسهل. هل يندرج وباء الكورونا الحالي ضمن هذه الجهود؟ لربّما سيكشف المستقبل ذلك.

د. محمد جياد الأزرقي

أستاذ متمرس، كلية ماونت هوليوك
قرية مونِگيو، ماسَچوست، الولايات المتحدة
mjiyad@mtholyoke.edu
4/ 10/ 2020

مقدمة المؤلف

سألت موظفة الاستقبال، «لماذا أنت هنا؟».

كانت تلك زيارتي الأولى لبنك تجميد الحيوانات المنوية Cryobank، فبدأت لتوي اشعر بحرج قليل.

«أعتقد أنّه لأمر جيد أن يقوم الجميع بالحضور إلى هنا»، قلت ذلك وأنا أهزّ كتفي. ثمّ أضفت، «إنّني أحاضر حول العالم عن مستقبل الإنجاب لدى البشر، وأخبِر الحضور ممّن يرغبون أن يكون لديهم أطفال أن يجمّدوا البويضات eggs والحيوانات المِنوية sperms، وهم في سنّ العشرين. أنا متأخّر الآن بعض الوقت».

رفعت حاجبها وقالت، «متأخر، حوالى 20 سنة؟ لا أفهم ماذا تعني بذلك. هل تحبّ أن تتبرّع؟».

«لا».

هل تخضع الآن للعلاج الكيمياوي؟ أو أيّ علاج طبي قد يلحق الضّرر في نُطفِك؟».

«لا».

هل أنت عضو في القوات المسلحة وعلى وشك أن تذهب في مهمة؟».

«لا».

«بقيت فئة أخرى على الاستمارة وهي (أسباب أخرى)» توقفتْ عن الكلام لحظة، وبدا عليها عدم الارتياح. ثمّ استأنفت، «هل تُحبّ أن أضع اسمك في هذه الفئة؟».

شعرت بالإحراج لأنّني كنت أفكّر بتبعات ذلك. ربّما قد أحب أن يكون لديّ أطفال في المستقبل، وأريد أن أحتفظ بنطفي الشابّة الآن. رُبّما سأتبرّع بها عندما يُرسلون البشر إلى الفضاء ويبدأون في سكن أجرام المنظومة الشمسيّة الأخرى. رُبّما لأنّني اعتقد أنّ البشر يسيرون باتجاه مستقبل تغيير الجينات، حين سيتمّ تلقيح البويضات بالمِني داخل المختبرات، وليس في غرف النوم أو المقاعد الخلفية للسيارات. ومهما كانت الاحتمالات، فإنّ من الأفضل أن أقوم الآن بالخطوة الأولى.

«حسنا، ماذا تقول؟».

ابتسمتُ بعصبية. كان ذهني مشغولًا بالتفكير في تلك اللحظة، التي لا تصدّق في تاريخ تطوّر البشر، حين تمتزج التقنيات «الثورية» الحديثة مع شخصيتي ككائن بشري، في هذا المكان المعقم وسط منطقة مانهاتن في مدينة نو يورك.

يمكن للعلماء ورجال الدين أن يتناقشوا فيما بينهم إن كانت الشرارة الأولى للحياة على وجه البسيطة قد بدأت من نبع حراري thermal vent في قاع المحيط أو قدرة إلهية (أو كليهما). لكنّ أغلب الذين يؤمنون بالعلم يرون أنّه قبل حوالى 3.5 بليون عامًا نشأت أوّل خليّة حيّة. كان يمكن لتلك الكائنات الدقيقة أن تنتهي بموت ذلك الجيل منها، لو لم تجد طريقة للتكاثر. وهكذا شقّت الحياة طريقها وأنّ تلك الميكروبات بدأت تكوّن تجمّعات صغيرة. لو أنّ تلك الكائنات المكونة من خلية واحدة أصبحت نسخ طبق الأصل من الخلية الأم، لكان العالم مليئا بتلك المخلوقات ذات الخلية الواحدة، ولما استطعتَ/استطعتِ قراءة هذا الكتاب! لكن ذلك لم يكن ما حدث.

إنّ تاريخ الإجناس هو مجموعة قصص أخطاء صغيرة وتغيّرات، استمرّت تبرز للوجود من خلال عمليات الاستنساخ. وبعد مرور ما يقرب من بليون عامًا على هذه التغيّرات الدقيقة، التي خلقت عددا كبيرا من الطحالب الحية المختلفة قليلا عن بعضها البعض، وتحوّل واحد أو أكثر منها إلى كائنات تتألف من عدة خلايا. وطبعا في مقاييس أيامنا هذه، كانت لدى تلك الطحالب القدرة على خلق كائنات أكثر اختلافًا. بدأت هذه الأشكال المتنوعة تولد نماذج لديها بعض الأفضليات للحصول

على الغذاء أو الدفاع عنه بوجه نموذج آخر من الأحياء، مّما أعطاها الفرصة أن تتغذى على بعضها البعض وتصبح أكثر نضوجًا. وبعد مرور ما يقرب من 2.5 بليون سنة كان فيها النضج والتنافس يقودان الحياة قدمًا، حدثت قفزة معجزة miraculous leap بظهور الأجهزة التناسلية لدى الكائنات.

أدّى بروز هذه الأجهزة إلى تغيير نوعي جديد نتيجة للتناسل، حيث بدأت الجينات الوراثية للذكور والإناث تختلط بطريقة جديدة. دفعت هذه العملية، التي لا تصدّق، تلك الكائنات البسيطة أن تتحوّر وتتشكّل بصور عجيبة قبل حوالى 450 مليون سنة، لتخلق أنواعًا من الكائنات غير معروفة من قبل، ومنها السمك. وقبل حوالى 200 مليون سنة، غادرت بعض تلك الأسماك المياه واتجهت إلى اليابسة، فتطورت إلى الحيوانات الثديية. وقبل حوال 300000 عامًا، تحوّل بعضها إلى **هومو** Homo، أي نحن البشر.

ذلك في الأساس هو تاريخ تطورنا. فكلّ منّا كان كائنًا من خلية واحدة تطوّرت إلى مجموعة خلايا قبل 4 بلايين عامًا من خلال طفرات عشوائية لا نهاية لها، تنافست فيما بينها من أجل البقاء. ومن نجا من الأسلاف هو من خلفنا. والاسم المختصر لهذه العملية هو التطوّر وفق نظرية داروين. وهي التي أوصلتنا إلى ما نحن عليه. غير أنّ أسس نظرية داروين هذه، بدأت تتحوّر mutation.

واعتبارًا من هذه النقطة والى المستقبل لن يكون هذا التحوّر عشوائيا، بل سيكون مصمّمًا ذاتيًا self-designed. واعتبارًا من هذه اللحظة ستلعب الأنواع دورًا مسيطرًا في عملية تطوّرنا عن طريق تغيير الجينات، التي ستجعل نسلنا خلقًا مختلفًا عمّا نحن عليه اليوم. بعبارة أخرى لقد بدأنا عملية اختراق نظرية داروين.

وهذه فكرة لا تصدّق وستكون لها تطبيقات هائلة.

إنّ الهيئة الحالية لنوعنا الإنساني our Homo، ما كانت أبدا نقطة النهاية للتطوّر، بل كانت دائمًا وقفة في طريق رحلتنا المستمرة نحو التطوّر. سنمضي للأمام ونحن في قيادة هذه العملية بشكل لم يُسبق له مثيل عن طريق التكنولوجيا، ويحدونا الأمل أنّها ستكون عملية قائمة على أفضل القيم وبموجبها.

لو عدنا إلى الوراء مدة 1000 عامًا، وأخذنا طفلًا ونقلناه إلى عالم اليوم، فإنّ هذا الطفل سينمو ويصبح بالغًا لا يمكن تمييزه عن أيّ شخص آخر منّا. ولو قفزنا للأمام بفعل آلة الزمن مدة 1000 عامًا نحو المستقبل، فإنّ الطفل سيكون وليد جينات خارقة، وفق معاييرنا الحالية. سيكون الأمر عاديًّا، طفل بذكاء معزز وعمر طويل ومناعة ضد الأمراض، وتكون له/لها صفات وراثية لها ارتباط بإنسان عجيب يتمتع بأشكال معينة من العبقرية وإدراكات حسية فائقة للغاية. وقد تكون له/لها سمات جديدة غير معروفة في عالمي البشر والحيوان. لكنّها جميعًا مبنيّة على نفس اللبُنات البيولوجية، التي ستنبثق عنها تنوّعات جديدة في كافة أشكال الحياة.

«هل أضع اسمك في فئة (أخرى)؟» سألت موظفة الاستقبال، فقطعت عليّ سلسلة أفكاري.

أخذت نفسًا عميقًا وقلت لها، «ربّما ذلك هو الأفضل».

غمغمتْ شيئًا ينمّ عن استيائها، ثمّ أردفت، «كم تحبّ أن تكون فترة التجميد والخزن؟».

«لماذا لا نبدأ بفترة 100 عامًا؟ ونرى ماذا يترتب على ذلك».

ألقت عليّ نظرة شكّ وقالت، «آسفة. إنّ الفترة لدينا بحدود سنة أو 3 سنوات أو 5 سنوات فقط».

فضحتني التعابير التي بدت على وجهي، «هذا أقصر بكثير مِمّا كنت أتوقع».

«بإمكانك دائمًا أن تجدد الفترة بعد أن تنتهي».

قلت، «إذن، سيكون هناك العديد من محاولات التجديد. كيف سيتسنى لي أن أعرف أنّ خدماتكم ستطول للمدة التي أحتاجها؟».

«لا تقلق. سنكون هنا. لقد جدّدنا لتوّنا هذا المكتب».

بدا واضحًا أنّنا كنّا نفكّر بطريقتين مختلفتين حول المستقبل وعملية الإنجاب.

أضافت تقول، «تفضّلْ أجلسْ واملأ هذه الاستمارات». ناولتني عددًا منها وأضافت، «سأنادي عليك حين يكون الطبيب جاهزًا لاستقبالك».

جلست متنرفزًا على كرسي البلاستِك أحمر اللون في مكتب طُليَت جدرانه باللون الأبيض الشائع. ملأت الاستمارات بالمعلومات المطلوبة وبدأت أفكّر كيف وصلت إلى هذه النقطة. عادت بي الذاكرة إلى سلسلة من الحوادث جعلتني مأخوذًا تمامًا بالتقنيات الخاصة بالجينات، التي ستغيّر مسار التطوّر لكافة أنواع الحيوانات، بما فيها أنا نفسي.

شرعت أهتمّ بهذه القضية حين بدأت عملي في البيت الأبيض في مجلس الأمن القومي في المرحلة الثانية من فترة إدارة *كلِنتُن*. كان رئيسي، الذي أصبح أقرب أصدقائي، هو رِچَرد *كلارك*. أحبّ أن يُخبر كلّ مَن يودّ الاستماع إليه أنّ الإرهاب هو التهديد الرئيسي لأمن الولايات المتحدة، وأنّنا نحتاج لذلك أن نتبع سياسة أكثر تشددا لمعرفة هوية إرهابي غامض اسمه *أسامة بن لادن* وملاحقته. وحين دمّرت الطائرات المختطفة برجي التجارة في نو يورك بتاريخ 9/ 11. كانت نبوءة رِچَرد في مكانها، رغم أنّ مذكّرته المشهورة حول **تنظيم القاعدة** كانت ملقاة في أحد أدراج مكتب الرئيس بُش الابن.

تعوّد رِچَرد على القول، إنّه لو ركّز الجميع في واشنطن على شيء معين، فمن المؤكّد أنّه تمّ نسيان أشياء أكثر أهمية. بقي هذا القول ماثلًا في ذهني. بعد أن تركت العمل في البيت الأبيض، واصلت التفكير بتلك الأشياء الهامة، التي لم تحظَ بالاهتمام. غير أنّي غالبًا ما عدت إلى موضوع الثورة الناشئة في ميدان الجينات والتكنولوجيا الحيوية biotechnology. تابعت قراءة كلّ ما أجده وتعقبت أذكى المفكرين والعلماء حول العالم لأعرف المزيد. وحين أحسست أنّ باستطاعتي قول شيء عن الموضوع، بدأت اكتب مقالات حول تطبيقات الأمن القومي فيما يتعلق بالثورة في ميدان الجينات، تمّ نشرها في المجلات المتخصصة بالسياسة الخارجية.

تلقيت في مطلع عام 2008 مكالمة غير متوقعة من نائب ذكي غريب الأطوار اسمه *براد شِرمَن* من ولاية كاليفورنيا. كان يشغل حينها منصب رئاسة اللجنة الفرعية المتخصصة بقضايا الإرهاب والحدّ من انتشار الأسلحة النووية والتجارة في لجنة الشؤون الخارجية للكونگرس. أخبرني *شِرمَن* أنّه يفكّر كثيرًا بالجيل الجديد من التهديدات الإرهابية. كان قد قرأ فاعجبه ما كتبت في إحدى مقالاتي المنشورة. أضاف أنّه يودّ عقد جلسة في الكونگرس للاستماع إلى شهادتي حول ما ورد في مقالتي المذكورة. شعرت بالفخر لتلك الدعوة، خاصة وأنّه كلفني أن أختار أشخاصًا آخرين للمساهمة في الجلسة، على أن أكون الشاهد الرئيسي. اقترح أنّ اللجنة ستعقد اجتماعها في

شهر يونيو من نفس العام واختار لها عنوان «علم الوراثة وتقنيات التعديل البشري Human Modification».

«حين ينظر أولادنا وأحفادنا بعد حوالى 200 عامًا منذ الآن لعصرنا الحالي ويسألون أنفسهم عن ماهية التحديات الكبرى في السياسة الخارجية التي واجهناها في عصرنا»، كما أكدت في شهادتي، «فأعتقد أنّ الإرهاب مهم للغاية ويحتل المرتبة الأولى على قائمة الأولويات. إنّني أدلي بشهادتي اليوم أمامكم، لأنّني أعتقد أنّنا كأمريكيين ومكانتنا في العالم تتطلب منّا الانتفاع من قدراتنا الجديدة لإدارة صيغة ما يكون عليه تركيبنا الجيني والتحكم بها».

زادت تلك الشهادة أمام الكونگرس من ثقتي بأنّني متوجّه صوب شيء هام وأحتاج أن أتعمّق فيما يبدو أنّه موضوع مدهش بلا نهاية ويتغيّر بسرعة، وأنّني أعرف شيئًا يتطلب منّي أن أعرضه على الآخرين واشركهم فيه.

بدأت كتابة المزيد من المقالات ونشرتها في المجلات السياسية، وارفقت ذلك بالقاء المحاضرات داخل البلاد وفي بقية أنحاء العالم حول هندسة الجينات البشرية. وكلما ازدادت معرفتي واحتكاكي بالمهتمين بنفس الموضوع، أصبحت على قناعة أكثر، بأنّنا كمجتمع لم نعطِ الموضوع اهتمامًا كافيًا لكي نكون على استعداد لقدوم الثورة في عالم الجينات. ازداد قلقي أنّ دعوتي لم تلقَ الآذان الصاغية بعدُ. بدأت أدرك بمرور الوقت أنّه لكي تصبح دعوتي أكثر فاعلية، فيجب عليّ أن أغيّر طريقة تواصلي. إذا كانت محاضراتي حول السياسة، التي تتعلق بعلم الوراثة لم تخلق الاهتمام المطلوب، فعليّ العودة إلى ما كنت أقوم به في الأساس.

بعد نشر كتابي الهام، الذي لم يقرأه إلّا القليل حول **تاريخ الإبادة الجماعية في كمبوديا**، الذي عزّزته بالآف ملاحظات الحواشي، أدركت أن أفضل وسيلة لمعالجة الموضوع يجب ألّا تكون وفق سرد تاريخي مطوّل، بل من خلال رواية القصة. لقد كانت رواية القصص هي ما تعوّد عليه الناس. فالقصص التي تمّ تداولها داخل الكهوف وحول مواقد النار، قد تحولت إلى اشكال رواياتنا وافلامنا ومسلسلات التلفزيون،التي نراقبها ونترقبها. كان كتابي الثاني هو روايتي الأولى، التي اخترت لها عنوان **أعماق البحر**، وتناولت فيها مأساة تاريخ كمبوديا، كما وردت في مجموعة من قصص الناس الهاربين إلى مناطق حدود تايلاند وكمبوديا إثر نهاية حرب فيتنام. كان كتابي الأول سردا حقيقيا لطوفان العنف الذي أغرق كمبوديا، لكن الرواية كانت اسهل فهما واستيعابا من قبل القراء.

وعليه حين قوبلت بتحدّ آخر بعد مرور عدة سنوات بأن اقرّب إلى الأذهان مواضيع هامة للغاية حول الثورة في ميدان علم الوراثة، من خلال كتاباتي واحاديثي، اتبعت نفس الستراتيجية، أي رواية القصة ببساطة. في سلسلة رواياتي الخيالية العلمية، التي اخترت لأولها عنوان **شفرة التكوين** Genesis Code، تناولت التطبيقات الثورية في علم الوراثة. كانت الأخرى بعنوان **المعزوفة الخارجية** External Sonata، حول تخميناتي عن مستقبل زيادة أمد الحياة. حاولت أن أتصوّر التقنيات في عالم الوراثة الجينية، وماذا تعني بالنسبة لنا نحن البشر على مختلف المستويات. بغيت أن ألفت انتباه الناس إلى قصتي حول مستقبل حياتنا، بأسلوب يمكن استيعابه بسهولة.

غير أنّه حدث شيء غير متوقع خلال قيامي بجولات للحديث عن كتبي. بدأ الحضور يظهرون بعض الحماس حول المليشيات المسلحة، التي تردّد مفهوم يوم القيامة بشكل متكرّر، وما يصحب ذلك من خطط الجاسوسية والعلاقات الرومانسية والانفجارات الصاخبة المصحوبة بالأضواء، التي مزجتها جميعًا لأصوّر الحياة في عالم الخيال العلمي. لكنّ عيون المستمعين ازدادت اتساعًا حين أوضحت لهم الحقيقة العلمية التي تقوم عليها الثورة في علم الوراثة وماذا يبدو أن تعني بالنسبة لنا نحن الشر. حين بدأت اشرح الأسس العلمية باستخدام لغة رواياتي وقصصي المبسّطة، أظهر الحضور فهما مفاجئا، وكيف أنّ القليل من المعلومات العلمية، التي يتعرضون إليها في حياتهم اليومية، أخذت تنتظم تدريجيًا لترسم صورة مستقبلنا وقصته. وجدت نفسي اختصر تدريجيّا مناقشة رواياتي وأتوسّع في الحديث أكثر عن التكنولوجيا الحقيقية، التي تحمل في طياتها التغيّرات الأساسية وتحوّلنا كبشر.

المناقشات المفعمة بالحيوية بيني وبين الناس خلال جولاتي للتعريف بكتبي ومناسبات أخرى، وضعت أمامي تحدّيًا بأن أتعلم أكثر وألهمتني أن أطرح على نفسي أسئلة أصعب حول مستقبل هندسة الجينات البشرية، وعلاقتي الشخصية بهذا الموضوع.

لقد بلغت سنّ منتصف الأربعينات، وليس لديّ أطفال، افترضت دائمًا بأنّه سيكون لي منهم نصيب. كان ذلك يعود جزئيًا إلى موقفي من الموضوع لفترة طويلة، وليس تماما الإيمان العقلاني بالعلوم والحياة الصحية والموقف الإيجابي لضبط ويلات الزمن وقسوة البايولوجيا. إنّني اعتبر نفسي متفائلًا بالتكنولوجيا technology optimist حدّ النخاع. ولكن وأنا استحضر صور عالمنا

وأنا وسط جماهير المستمعين، أجد نفسي أتساءل إنْ كنت أؤمن حقا بالتكنولوجيا بالقدر الذي تنبأته عنها.

هل أنّني أعتقد أنّ المعرفة، التي جنيناها خلال 150 عامًا الأخيرة في ميدان علم الوراثة، كافية لتغيير بلايين السنوات من تطورنا البايولوجي؟ هل يمكنني أن أراهن حقيقة أنّ التعديلات الوراثية ستساعد في خلق مستقبل أطفالي ليكونوا أفضل صحة وأعلى ذكاء واشدّ قوة وأكثر سعادة؟ وباعتباري طالبا في التاريخ، ألم أراهن أنّ البشر المعززين وراثيا قد يستخدمون قدراتهم المتقدمة للسيطرة على كلّ من حولهم، كما فعلت القوى الاستعمارية بشكل دائم؟ وباعتباري طفلًا للاجئ من أوروپا النازية، هل أنّي مستعد حقًا أن أتقبل فكرة بأنّ في استطاعة الوالدين ويتحتم عليهما، أن يشرعا في اختيار أطفالهم للمستقبل وهندستهم، اعتمادًا على نظريات وراثية ما زالت غير مكتملة؟

ومهما كانت أجوبتي، فإنّ شيئًا كان تامّ الوضوح. بعد مرور ما يقرب من 4 بلايين عامًا من التطور وفق مجموعة واحدة من القواعد، فإنّ الأجناس على وشك أن تتطور وفق قواعد أخرى.

في روايته الخيالية بعيدة النظر، التي صدرت عام 1865 بعنوان **من الأرض إلى القمر**، وصف الفرنسي *جولز فرَن* مغامرة طاقم من ثلاثة رجال استعملوا قذيفة أوصلتهم إلى القمر فقفزوا بالمظلات إلى سطحه. كان العمل الروائي في ذلك العام، علميًّا من وحي الخيال. لم تكن التكنولوجيا متوفرة لمثل تلك الرحلة. ولكن بعد مرور قرن من الزمن، طوّر الإنسان الآلات، التي مكّنته من إنجاز تلك المهمة. كان وصول الإنسان إلى القمر عام 1865 يعادل وصوله إلى جرم من الأجرام خارج المنظومة الشمسية، التي نعرفها اليوم. قد يكون ذلك ممكنا في المستقبل، لكنّه ليس لدينا أيّ دليل كيف نفعل ذلك. العلم ليس مكتملا بعدُ لإنجاز مثل هذه المهمة.

بعد قرن تقريبا وفي عام 1962 صعد الرئيس جون ف. كندي إلى المنصّة في مدينة هيوستن والقى خطابه الشهير جدّا، الذي اعلن فيه أنّ الولايات المتحدة سترسل رائدا فضائيا إلى القمر خلال حقبة واحدة من الزمن. شعر الرئيس الأمريكي بالثقة لكي يضع سمعة الولايات المتحدة على المحكّ في ذروة الحرب الباردة، لأنّه في عام 1962 كانت كافة الوسائل تقريبًا جاهزة لإنجاز مهمة الوصول إلى القمر، بما فيها الصواريخ وسبل الوقاية من درجات الحرارة العالية جدا وأنظمة دعم الحياة life support systems، إضافة إلى أجهزة كومپيوتر قادرة بسرعة على إجراء عمليات حسابية معقدة. لم يكن كندي يتخيل إنجاز المهمة كما فعل فرَن، ولم يأتِ باختراع علمي.

رسم فقط وبوضوح استدلالات من التكنولوجيا المتوفرة في حينها، والتي احتاجت إلى القليل من التحريك الإضافي. كان كلّ شيء تقريبا جاهزا في مكانه، وإنجاز المهمة مسألة لا بُدّ منها. التوقيت فقط هو العامل الحاسم. وبعد مرور 7 سنوات، نزل نيل آرمسترونگ من على درجات سلّم **المركبة أپولو** 11 واعلن للعالم عبارته الخالدة، «خطوة قصيرة للإنسان، لكنّها قفزة عملاقة للإنسانية».

بالنسبة للثورة في عالم الوراثة، فإنّها لا تتعادل مع عام 1865 بل تتناسق مع عام 1962. فالحديث عن إعادة صياغة الأجناس ليس خيالات علمية، لكنّه امتداد منطقي قريب بسبب التطورات السريعة في ميادين التكنولوجيا، ولما هو موجود حاليا منها. لدينا الآن كافة الأدوات، التي نحتاجها لتغيير التركيبات الجينية لكافة الأجناس على وجه البسيطة. العلم متوفر الآن وتحقيق المهمة أمر لا مناص منه. المتغيرات فقط تخصّ إن كانت العملية ستنطلق تماما خلال حقبتين من الزمن أو أسرع من ذلك، وما هي القيم، التي ستضع الدليل للتحكّم بهذا التطوّر.

لم يسمع الجميع عبارة **قانون مور**، وهي ملاحظاته بأنّ قدرات عمليات الكومپيوتر تتضاعف تقريبًا كلّ سنتين. لكنّنا جميعًا قد استوعبنا الآثار المترتبة على ذلك. وهذا هو السبب في توقعنا أنّ أجهزة التلفزيون وأجهزة الهاتف والكومپيوترات المحمولة أن تصبح أخفّ وزنا وتقوم بمهام إضافية جديدة. لكنّه بات واضحًا بأنّ قولًا مشابهًا لقول مور موجود فعلًا لفهم التركيبات البيولوجية وتغييرها، بما فيها تلك التي تعود لنا.

بدأنا ندرك أنّ النظام البيولوجي للبشر هو نظام آخر في سلم تكنولوجيا المعلومات. لم تعد صفاتنا الوراثية سحرا قد تعلمناه، لكنّها شفرة بانت رموزها وتمكّنا من قراءتها وكتابتها وأيضًا اختراقها والتلاعب بها. وبسبب هذا سيكون لدينا خلال وقت قصير نفس التوقعات، التي اردناها لأنفسنا ولبقية معلوماتنا التكنولوجية الأخرى. سنرى انفسنا وبشكل متزايد وبطرق شتى أنّنا أصبحنا كالضمير IT (ضمير الشخص الثالث غير العاقل في العربية - المترجم).

وكما متوقع، فإنّ هذه الفكرة تخيف الناس، لكنّها في نفس الوقت يجب أن تثيرهم لتصوّر شتى الإمكانات التي لا تُصدّق حول تحسين الحياة. وبغضّ النظر عمّا نشعره، فإنّ مستقبل الجينات سيصل عاجلًا أكثر ممّا استعددنا له ببناء التكنولوجيا القائمة حاليًّا.

وكبداية، سنعوَل على استعمال التكنولوجيا القائمة من أجل الإخصاب في المختبرات واختيار الأجنة المعدّلة in verto fertilization IVF، ليس فقط لاختيار تلك الخالية من الأمراض بل أيضًا اختيار الجنس، كما هو جار الآن، وأيضًا اختيار وتعديل جينات أطفالنا في المستقبل بدرجة واسعة.

كما أنّ المرحلة المتداخلة لثورة الجينات البشرية ستتقدّم خطوة أبعد، وهي زيادة عدد البويضات المتوفرة لعملية الإخصاب في المختبرات، بتحميل أعداد كبيرة من خلايا البالغين مثل خلايا الدم والجلد وتحويها إلى خلايا جذعية stem cells كي تتحوّل هذه الخلايا إلى بصيلات بويضات، ومن بعدها تنمو بصيلات البويضات هذه إلى بويضات فعلية.

حين تصبح هذه العملية أكثر أمنا بالنسبة للبشر، فإنّ النسوة اللواتي يجرين عمليات الإخصاب في المختبرات، ستكون كلّ واحدة منهن قادرة ليس فقط على إنتاج 10 بويضات أو 15 بويضة للإخصاب، بل مئات منها. وعليه فإنّ تحرّي العدد الصغير من الأجنة العائدة لكلّ زوجين، سيكون بمستطاعهما استعراض وتحرّي مئات من الأجنة لاختيار ما يناسبهما من تلك الأجنّة الفائقة والاطّلاع على المعلومات الموسعة التحليلية عن كلّ منها.

سيكون بإمكان الوالدين ليس فقط اختيار الأجنة المناسبة لهما، بل أيضًا إمكانية طلب تعديلات جينية إضافية على أطفالهما للمستقبل. إنّ تكنولوجيا فحص الجينات وتعديلها Gene-editing متوفرة منذ سنوات. لكنّ التطورات والابتكارات الحديثة في التكنولوجيا مثل CRISPR-Cas9 قد جعلت من الممكن فحص كافة الجينات وتعديلها لكافة الأجناس، بما فيها الجنس البشري بدقة وسرعة ومرونة أكثر وكلفة أقلّ، عمّا كانت عليه في السابق. بواسطة استعمال جهاز CRISPR وغيره من الأدوات الأخرى، سيكون ممكنا من الناحية العلمية أن يُزوّد الجنين بصفات وقدرات من خلال حقن الحمض النووي DNA من أشخاص آخرين ومن حيوان لآخر وحتى من مصادر اصطناعية synthetic resources.

حين يكون باستطاعة الوالدين معرفة أنّه بإمكانهما استعمال الإخصاب المختبري IVF واختيار الأجنة لتحاشي الأمراض الوراثية وإمكانية الحصول على مواصفات إيجابية مثل ارتفاع معدل الذكاء IQ وحتى حالات الانبساط والانشراح والعطف، وغيرها من الصفات، التي يريدها

الوالدان لأطفالهما، الذين يتكونون بدأ خارج أرحام الأمهات، سيتوصل البعض إلى أنّ إنجاب الأطفال عن طريق ممارسة الجنس مسألة خطيرة ومخاطرة لا ضرورة لها. ستفضّل الحكومات وشركات التأمين أن يستعمل مواطنوها الإخصاب المختبري، لكي يتخلصوا من نفقات كلفة العناية بحالات الأمراض الوراثية، التي يمكن تحاشيها أصلًا.

ومهما كان خليط المحفزات والخطوات الأولى، فإنّه من المستحيل تقريبا على المرء أن يعتقد بأنّ الأجناس سوف تتجاهل التقدم التكنولوجي، الذي يحمل في طياته بشارة إزالة الأمراض الفظيعة وتحسين صحتنا وزيادة أمد حياة كلّ منّا. لقد تقبلت البشرية كلّ تقنية جديدة بدأ بالمتفجّرات ومن ثمّ الطاقة الذرية وبعدها المُنشّطّات والجراحات التجميلية، وغيرها من التقنيات، التي وعدت بتحسين حياتنا، رغم أنّه توجد لاستعمالها جوانب سلبية. إنّ فكرة تحوير كياناتنا تتطلب جرعة فائقة من التواضع، لأنّنا سنكون جنسًا مختلفًا من البشر وليس طموحات متغطرسة. هذا هو المبدأ التوجيهي الذي نفكّر به.

بإمكاننا من خلال استعمال هذه التكنولوجيا وأدواتها أن نمحو الأمراض الوراثية تمامًا في المستقبل القريب ونحسّن قدراتنا على المستوى المتوسط، ونغيّرها، وربّما سنحضّر أنفسنا أن نعيش على أرض حرارتها أعلى من الدرجات المعتادة أو ننتقل للسكن في الفضاء أو على سطح كوكب آخر لفترة أطول. ومن خلال إجادة استعمال الطرق لتعديل جيناتنا الوراثية، ربّما سيُنظَر إلى هذا باعتباره أفضل اختراع في تاريخنا البشري والمفتاح لسبر غور احتمالات أخرى لا يمكن تصوّرها، بواسطة سبل عديدة لخلق مستقبل جديد بكامله. لكنّ كلّ هذا لن يجعل الأمر مُنفرًا بشكل أقلّ.

كلما ازداد انكشاف هذه الثورة، لن يكون بمقدور كلّ شخص أن يشعر بالارتياح بسبب تحسين الجينات، اعتمادًا على معتقداته الفرد الدينية وأفكاره السياسية أو شعوره بعدم الأمن وزيادة مخاوفه من هذه المغامرة. فالحياة أكثر من علوم وشفرات وتعليمات برمجية codes. إنّها تشمل أيضا غموضا وعند البعض شيئًا يُسمّى «روح».

إذا كانت فكرتنا خلق أنواع موحّدة من الأجناس، فإنّ مثل هذا التحوّل سيكون تحدّيا في عالم حيث تكون الاختلافات في الرأي والمعتقدات واسعة وعلى مستويات من التطوّر متباينة جدّا. ستكون هناك احتمالات كارثية للغاية إنْ لم نكن بالغي الحذر.

يجب أن نطرح ونجيب حقيقة عن أسئلة أساسية. هل سنوظّف هذه التقنيات القوية لتوسيع حدودنا كبشر؟ هل ستكون منافع العلم من حصة المُنعمين القلائل من ذوي الامتيازات، أم أنّها ستستخدم للتخفيف من المعاناة وزيادة احترام التنوّع وتأمين الخدمات الصحية والرعاية الاجتماعية لكافة المواطنين؟ مَن صاحب الحق في اتخاذ القرارات الفردية والجماعية، التي سيكون لها تأثير على الجينات البشرية في كافة أنحاء العالم؟ وأيّ نوع من الإجراءات، يجب علينا أن نتخذ كي نتوصّل إلى أفضل قرارات ممكنة بشأن مسار التطوّر في المستقبل لجنس واحد أو لعدّة أجناس؟

ليست هناك أجوبة سهلة لأيّ من تلك الأسئلة، ولكن يحتاج كلّ فرد في المجتمع أن يكون جزء ضمن مَن يصارعون لإيجاد الأجوبة. يجب علينا أن نرى أنفسنا بنفس الطريقة، التي رأى فيها جون *كندي* نفسه، وهو يصعد إلى المنصّة عام 1962، لكي نكون مستعدّين لنلقي خطبنا حول مستقبل الأجناس في ضوء الجينات المعدّلة والثورة في مجال التكنولوجيا الحيوية. إنّ ردودنا الجماعية من خلال نقاشاتنا ومنظماتنا وحكوماتنا المدنية وهياكلنا السياسية ومؤسساتنا العالمية، ستقرر بطرق شتى من نحن وماذا نقدّر وكيف نتحرّك للأمام. ولكي نكون جزء من هذه العملية، فإنّه يجب أن تتولد لدينا الحاجة الملحّة كي نثقف أنفسنا عن هذا الموضوع.

قالت موظفة الاستعلامات، «يا سيد *مَتزِل*، الطبيب مستعدّ أن يراك».

هززت رأسي قليلا ونظرت إليها وأنا اشعر بقليل من النرفزة. وحين فُتح الباب المطلّ على الرّواق الخلفي، وقفت ببطء وتوقفت لحظة، قبل أن أخطو نحو ذلك الباب.

لقد أعددت هذا الكتاب لأشرح موقفي ولماذا رغم شعوري بحتمية الثورة في علم الوراثة البشرية، وتقدّمها بسرعة، فإنّ كيفية الدور الذي ستلعبه بطرق هامة، راجع إلينا نحن ويتطلب أن نُقدِم على قرارات جماعية ذكية حول طريقة حياتنا في المستقبل. نحتاج أن نعرف ما يجري وما هي المخاطر، وأن نشترك جميعًا، وبقدر الإمكان، في مناقشة جادّة. إنّ كتابي هذا جزء متواضع كي نبدأ هذه المناقشة.

الباب مفتوح أمامنا جميعًا. ولا يهمّ الأمر إنْ كنّا نحبّ ذلك أم لا، فإنّنا سائرون نحوه. المستقبل في انتظارنا.

الفصل الأول

اتفاق داروين مع مُندَل

«كلّ من يفكّر أن يكون له طفل بعد مرور 10 سنوات منذ الآن، رجاء ارفعوا أيديكم!» هكذا خاطبت جمهورا من جيل الألفية حضر ليستمع إليّ في إحدى قاعات المؤتمرات الفاخرة في العاصمة واشنطن. رفع نصف الحضور تقريبًا أيديهم.

تحدّثت قبلها بطريقة شاعرية لمدة 45 دقيقة، كيف أنّ الثورة في عالم الوراثة ستغير الطريقة التي نولِد فيها أطفالنا، وبالتالي طبيعة الصغار، الذين نأتي بهم إلى هذا العالم. شرحت أوّلًا لماذا اعتقد أنّ هذا التغيير حتميّ وبأنّ أجيالنا القادمة ستتأقلم وستتقبل المستقبل المعدّل وراثيًّا، وكيف أنّ هذا الأمر سيكون مثيرًا للغاية وفي نفس الوقت مقلقا للغاية، ولماذا فكّرت بالحاجة إلى معرفة ما سيجري الآن للتأكد من أنْ نسخّر إلى اقصى ما يمكن من المنافع ونقلل إلى أكبر درجة ممكنة من الجوانب السلبية حول ما يتعلق بالتقنيات الوراثية.

«إذا كنتِ امرأة رفعت يدها، يتوجّب عليكِ أن تجمّدي بويضاتك، وإذا كنت رجلا رفع يده، فإنّي أشجعكَ أن تجمّد حيامنكَ بأسرع وقت ممكن».

نظر الحضور إليّ بعيون ملؤها الشكّ.

استمرّيت أتحدث فذكرت، «مهما كان أيّ منكم شابّا وخصبا، فهناك فرصة كبيرة لحدوث الإخصاب في المختبر. وعليه من الأفضل أن تجمّدوا البويضات والحيامن الآن، وانتم في أوج قدراتكم البايولوجية».

طغت موجة من التخوّف على وجوه هذه النخبة من الشبيبة، الذين يحصلون على مدخولات عالية من مهنهم. شعرت بأنّ صراعا استعر في دواخلهم. لقد عشت هذا الصراع لعدة حقب وأنا أتأمّل هذا السؤال، الذي بدا أنّه ازعجهم. كيف يمكن التوفيق بين الأعاجيب الرائعة والقسوة المتوحّشة لحياتنا البايولوجية؟

لقد ولدنا جميعًا من خلال عملية نشعر بأنّها أقلّ من معجزة، ثم بدأنا مباشرة معركة خاسرة ضد تقادم العمر والأمراض وتأثيرات عناصر الطبيعة من حولنا. لدينا انجذاب قوي نحو ما نشعر بأنّه طبيعي، لكنّ أجناسنا محدودة بمقدار جهودنا لترويض الطبيعة taming nature. نريد لأطفالنا أن يولدوا طبيعيين بصحة جيدة، لكنّه لا توجد حدود لما يمكن أن يبذله الوالدان من تحدّ للطبيعة لإنقاذ أطفالهم من الأمراض.

رفعت امرأة ترتدي بدلة زرقاء داكنة اللون يدها قائلة، «لقد أوضحت اعتقادك عن الوجهة التي تمضي نحوها الثورة في علم الوراثة، وكيف يجب أن نستعدّ لها. ولكن ماذا بشأنك أنت؟ هل ستعمل على هندسة جينات أطفالك؟

تجمّدت في مكاني بشكل غير معهود. لقد كتبت وحاضرت حول مستقبل الإنجاب البشري لعدة سنوات، لكنّني ولسبب ما لم اسمع مثل هذا السؤال. في الحقيقة لم أعرف الجواب عن السؤالين، اللذين طرحتهما المرأة المذكورة. توقفت ونظرت إلى الأعلى أفكّر لحظة.

تقدّم علم الوراثة بسرعة جعلتنا نحاول اللحاق به. حين تمكّن *جَيمس واتسُن* و*فرانسِس كرِك* و*روزلِند فرانكلِن* و*موريس ولِكِنز*، من التوصّل إلى رسم هيكل البناء الحلزوني المزدوج للحمض النووي عام 1953، اظهروا لنا كيف أنّ دليل الحياة منظّم على شكل سلم ملتوٍ. وحين استطاعوا وضع تسلسل الجينات منذ ربع قرن تقريبًا، أصبحت قراءة ذلك الدليل وفهمه بصورة أفضل. كما أنّ تطوّر الأدوات لمراقبة الجينات وتعديلها بعد حقب قصيرة، قد مكّن العلماء أن يعيدوا كتابة شفرة الحياة code of life. سرّعت قراءة وكتابة واختراق الجينات التقدّم العلمي خلال نصف القرن الماضي وحوّلت علم الحياة إلى شكل من أشكال تكنولوجيا المعلومات، وجعل الكائنات صعبة الفهم تتحول إلى حاملة للأجهزة العصبية ومصدر لبرنامج الشفرة.

قادت معرفة جينات الكائن IT بشكل متزايد إلى أن نرى التباين الوراثي والطفرات، التي تتسبب في أمراض فضيعة وزيادة المعاناة البشرية باعتبارها كلفة ضرورية للتنوع الافتراضي، وشيئًا يُشبه العطل المُرسل إلى جهاز الكومبيوتر computer bug لإرباك أنظمته. واذا استمرينا باستعمال هذا التشبيه، أفليس من الضروري أن نتخلص من هذا العطل وننظف الجهاز من تبعات هذا العمل التخريبي، بواسطة ما يتوفر لدينا من الأدوات، لكي نكون واثقين أنّ أجهزتنا تعمل وفق أفضل طاقاتها؟

شعرت أنّ أفكاري تتبلور أكثر فأكثر واستعادت عيناي تركيزهما. «إذا كان الحال آمنا وأعرف أنّ باستطاعتي أن أجنب طفلي الكثير من المعاناة»، قلت ذلك وأنا أتحرك نحو الجانب الآخر من المسرح، «فإنّني سأعمل ما أدعو إليه. إذا كنت على قناعة تامة بأنّي سأساعد طفلي أن يعيش حياة أطول وفي وضع صحي أحسن وفي حال ومزاج أسعد، فإنّني سأفعل ذلك. وإذا احتجت أن أوفّر لطفلي قدرات خاصة لكي ينجح في المنافسة في عالم من الأطفال الآخرين، الذين تهيأت لهم تلك القدرات المتقدمة، فعلى الأقل، سأنظر في الموضوع جديًّا. وماذا بشأنكِ أنتِ؟».

تمايلت المرأة في جلستها على مقعدها ثمّ ردّت، «هذا أمر صعب. أفهم ما تقوله، ولكن يبدو أنّه غير طبيعي».

«دعيني أخوض في الموضوع بشكل أعمق. ماذا تقصدين بكلمة طبيعي؟».

«ربّما الأشياء، التي كانت على حالها قبل أن يبدأ البشر بتغييرها».

«هل أنّ الزراعة شيء طبيعي؟ لقد بدأنا بممارستها منذ ما يقارب 12 ألف عامًا».

«هي أمر طبيعي وغير طبيعي في ذات الوقت». قالت ذلك بحذر، ويبدو أنّها أدركت أنّ الاستشهاد بهذا المثل حلقة واهية لتعليق المناقشة عليها.

«هل أنّ الذرة العضوية organic corn محصول طبيعي؟ لو عدنا إلى ما قبل 19 ألف عامًا لوجدنا أنّه من المستحيل أن نجد شيئًا يشبه ذرة اليوم. ربّما سنجد نبتة برية اسمها teosinte ذات عرانيس صغيرة تحتوي على حبيبات قليلة. وبعد أن تدخّل الإنسان بشكل ملحوظ، توصلنا إلى ما تشاهدينه الآن من عرانيسها الصفراء الشهية على طاولات الطعام داخل البيوت وفي النزهات.

كما هناك العديد من الفواكه والخضروات، التي نأكلها اليوم، وحتى منها ذات السماد العضوي organic، التي تُباع في المحلات بأسعار مرتفعة، هي من خلق الإنسان وجرّاء عمليات انتقاء وتلقيح وتكثير لفترة 1000 عامًا تقريبا. هل يمكن أن نقول إنّ هذه طبيعية؟».

«هذه منطقة غامضة وغير واضحة»، قالت ذلك وبدأت وكأنّها متشبّثة برأيها حول مفهوم «طبيعي وغير طبيعي».

«هل يكون أكثر طبيعيًّا لو عاد الإنسان إلى مرحلة الصيد في مجتمعات متناثرة كأسلافنا؟».

«ربّما».

ما كنت راغبًا في استمرار دفع الموضوع، لكنّني احتجت أن أعود فأركّز على نقطتي الأساسية. «هل ستفعلين ذلك، أنتِ بالذات؟».

غطّت وجهها ابتسامة شيطانية، وقالت «هل يوفرون خدمات داخل الغرف؟».

«لو كنتِ نزيلة في فندق فور سيزن، وحصل لك التهاب بكتيري فضيع. هل تفضلين علاج أجدادنا قبل 10 آلاف عامًا بالتعويذة وبعض النباتات البرية، أم ستذهبين للحصول على أدوية مضادة للحيويات antibiotics كي تنقذي حياتك؟».

«سأحصل على علاج مضادّ للحيويات».

«وهل هذا طبيعي؟».

«أفهم ما تعني».

نظرتُ للحضور واستأنفت القول متابعا، «كلنا جميعا لدينا آراء مسبقة متجذرة عميقا في أذهاننا عمّا هو طبيعي، ولكن لو دققنا النظر لوجدناها بعيدة كلّ البعد عن الطبيعة. إنّنا نحن البشر قد غيّرنا وحوّرنا الكثير من الكائنات في عالمنا خلال الألف عام الأخيرة. وإذا كنا طيلة هذا الوقت نغيّر ونحوّر ونعدّل الأنظمة البايولوجية للكثير من الأشياء حولنا، أليس من الأجدر أن نفكر في تغيير بايولوجية الصفات، التي نورثها لذوينا، وأنّ هذا هو مصيرنا في النهاية؟ هل لدينا الحقّ ومن

واجبنا أن ننظف أجهزة الكومبيوتر ممّا علِق بها ونصحح ما أصابها من الخلل؟ أليس جديرًا بنا أن نعمل نفس الشيء لأجسام أطفالنا؟».

تململ الحضور.

«إذا كان طفلك في المستقبل يولد وهو يحمل مرضا تعرف أنّه سيقضي عليه/عليها. رجاء ارفعوا أيديكم إن كنتم تقبلون أن يخضع أطفالكم الصغار لعمليات جراحية لإنقاذ حياتهم؟».

رفع الجميع أيديهم.

«إذا كان بالإمكان حماية الطفل من الإصابة بذلك المرض أصلًا، هل ستفعلون ذلك؟».

بقيت الأيادي مرتفعة.

«ارفعوا أيديكم إذا كنتم تفضّلون أن يتمّ الإخصاب في المختبرات IVF، ويكون في الإمكان أن تطلعوا على حال أطفالكم وهم ما زالوا في بداية التكوين؟».

ظلت الأيادي مرتفعة.

«ماذا لو تطلب الأمر إجراء تعديل طفيف لجينات الطفل وهو/وهي ما زالت في مرحلة ما قبل زرع الجنين في الرحم؟».

نزلت بعض الأيدي.

التفت إلى شاب من بين أولئك الذي أنزلوا أياديهم. كان في العشرينات وبدا موسر الحال من خلال ملبسه ومظهره. توجّهت إليه بالسؤال:

«قل لي لماذا اعترضت؟».

ردّ، «من نحن لكي نقوم بهندسة أطفالنا؟ يبدو لي أنّنا نسير في منحدر زلقٍ. إذا بدأنا ذلك، فأين سنتوقف؟ ربّما ينتهي الأمر بخلق أجيال من الناس من فصيلة فرانكشتاين. هذا أمر يجعلني أشعر بالتوتر».

قلت، «هذه نقطة صحيحة. طبعا يجب أن يجعلك هذا الأمر متوترًا. يجب أن يجعلنا جميعًا في حالة توتر. إذا لم تشعر بمزيج من الإثارة والخوف، فإنّك لم تستوعب الأمر. تسمح تكنولوجيا الوراثة لنا الحصول على امتيازات عجيبة ستخفف آلام البشر وتفتح أمامهم قدرات لم نكن نتصوّرها. ستظهر صورة جديدة للإنسان Homo2 وربّما أبعد من ذلك. سنوظف القدرات الجديدة لاختراع تكنولوجيا أخرى تكشف لنا عوالم جديدة وتخلق لنا فنونا هائلة وتجارب عاطفية تتوسّع باستمرار. ولكن إذا أخفقنا ولم نفعل الأشياء كما يجب، فإنّ هذه التكنولوجيا ستؤدي إلى تقسيم المجتمعات وستخلق كيانات متعسفة للفئة المعدّلة ضدّ الفئة غير المعدَلة وتقوّض التنوع وتقودنا إلى الاستهانة بقيمة حياة الإنسان، وحتى تؤدي إلى قيام حروب أهلية وعالمية.

سألتْ إحدى الحاضرات، «مَن يقرّر إلى أين سيقود الأمر؟».

«هذا هو أهمّ الأسئلة المترابطة منطقيًا، والذي يخصّنا كأفراد وكمواطنين ويدفعنا لأن نطرحه مرة تلو أخرى خلال السنوات القادمة»، قلت ذلك بأسلوب متقصّد. «كيف نجيب عنه، سيُقرّر من نحن وما هي حقيقتنا، أين سنعيش وكيف، وما هو في متناول أيدينا كبشر، وكجنس من الأجناس على سطح هذا الكوكب».

اعتدل الحضور في مقاعدهم وشعرت بوجود مستويات من القلق في تلك القاعة.

«يجب أن نكون قادرين على معرفة توجّهنا والى أين. هذا هو السبب الذي دفعني أن أحضر هنا لأتحدّث إليكم. إنّ جنسنا بكامله سيتخذ قرارات هائلة حول مستقبل جيناتنا خلال السنوات القادمة. تشمل بعض هذه القرارات وضع القوانين على المستوى المجتمعي. ولكنّ العديد من الخيارات الهامة ستكون على مستوى الفرد. مثلا أن نقرر الطريقة، التي سيكون عليها أطفالنا. سيشعر كلّ فرد، سواء كان متزوّجا أم لا، أنّ بيده قرار مستقبل الجنس البشري، ونضمن بذلك أنّ القرار بيد الجميع».

الخليط المعروف من مشاعر الخوف والعجب والارتباك، التي تطغى على الحضور، هو ما كنت أتوقعه في كافة مناسبات احاديثي ومحاضراتي خلال تلك السنوات.

ترتفع الأيدي في العادة لتسأل، كما فعل طلبة السنة الأولى من المرحلة المتوسطة في ولاية نو جرزي ومجموعة المفكرين في مهرجان جورج زايتجِست ومهرجان التكنولوجيا المفتوح

والخبراء في ميدان العلوم الطبية المتسارعة وطلبة الأكاديمية العلمية في نو يورك وطلبة كليتي الحقوق في جامعة سانفرد وجامعة هارفرد، وغيرهم في لقاءات ومؤتمرات العلماء والمثقفين وقادة رجال الأعمال حول العالم. بدأ الحضور يفهم ويستوعب المسؤولية الكبرى، التي تضعها هذه اللحظات التاريخية في أعناقنا.

إنّها مسؤولية جاءت في نقطة انعطاف لا تصدّق في تاريخ الأجناس، وقت تقاطعت فيه البايولوجيا مع التكنولوجيا، كما لم يجرِ من قبل وأحدثتا انقلابًا في أكثر ممارساتنا وتقاليدنا قدسيّة. وكالآخرين بدأ أبناء وبنات الجيل الألفي الجديد يستوعبون أنّ مستقبل تعديل الجينات، لا يقتصر فقط على إحداث تعديلات قليلة في جينات أطفالنا، بل خلق مستقبل جديد ومختلف لجنسنا البشري.

ولكي نفهم جهة توجّهنا، نحتاج أولًا أن نلقي نظرة على ماضينا لنعرف من أين أتينا.

* * *

طيلة فترة 2.5 بليون عامًا للحياة على الأرض، كان أسلافنا يستنسخون بعضهم البعض[1] فالجرثوم bacterium الأحادي الخلية مثلًا انشطر إلى قسمين لهما نفس الجينات، ثم انشطرت كلّ من هذه إلى قسمين آخرين، وهكذا. كانت تلك طريقة بسيطة تضمن عدم إضاعة الوقت والجهد في البحث عن شريك من أجل التناسل. كلّ ما تحتاجه هو أن تجد غذاء ثم تنشطر لكي يستمر التناسل والتكاثر. الجانب السلبي في هذه الطريقة، أنّ التكاثر بالاستنساخ قد خلق تناسقًا وراثيًّا genetic consistency بين الكائنات ذات الخلية الواحدة في منطقة معينة، وقيّد وألغى ما يُسمّى عملية الاختيار الطبيعي، التي سنأتي عليها.

غير أنّ هذا التناسق لم يكن مكتملا. تطوّرت البكتريا بطريقة جعلتها تأخذ بعض الجينات من بكتريا أخرى عن طريق إبر دقيقة نسمّيها Pili [2]. في الوقت الذي استمرت فيه عمليات الانشطار والتناسخ، التي ساعدت البكتريا أن تورث طفرات نافعة، إلّا أنّها في نفس الوقت جعلت بعض التجمّعات البكتيرية عرضة للخطر من الفيروسات التي تصيبها، لأنّ تلك البكتريا أورثت الكثير من القصور والخلل inadequacies في الأجهزة المناعية. غير أنّ التكاثر الجنسي sexual reproduction غيّر ذلك بشكل كبير.

إنّ الاستنساخ وفق العلوم البايولوجية نادرا ما يكون متكاملا، رغم أنّه من المستحيل أن نحدّد بدقة متى حصل ذلك. تقترح الحفريّات الأثرية أنّه بحدود ما قبل 1.2 بليون عامًا حدث تطوّر

في أحدى هذه الكائنات البسيطة عن طريق طفرة غريبة. فبدلا من الانشطار والاستحواذ على جينات من بكتريا مجاورة، تزاوج paired مايكروب مع مايكروب آخر، فوِلد الجنس، الذي وسّع إمكانات التطور بشكل كبير.

وبطبيعة الحال تطلبت مسألة الحصول على شريك جهدا أكبر من عملية الانشطار الذاتي، لأنّ الأخيرة بحكم تعريفها لا تتطلب البحث عن شريك متوقع. يجب على أولئك الذين يبحثون عن هذا الشريك أن يطوّروا قدرات لجلبه ومقاتلة المتنافسين. وحين يتمّ الحصول عليه، فإنّ جينات الطرفين ستختلط بشكل عشوائي في عملية تزاوج ذات ميزات كبيرة.

الكائنات التي تتوالد نتيجة الجنس سيكون فيها خاسرون بفعل وراثة جينات ضعيفة أو مريضة أو فيها خلل، أكثر من أسلافهم المستنسخين. لكنّه سيكون هناك رابحون بفعل وراثة جينات كاملة وقادرة على إنتاج نماذج مختلفة من الكائنات المولودة جنسيًا وتتكاثر بشكل مستمر. بدأت تلك الكائنات تتكيف بسرعة للتغيّرات في البيئة وكانت ذات قدرة على طرد المنافسين وإبعادهم والحصول على الغذاء والإسراع في عملية التغييرات التطورية. ومن أحد هؤلاء تشكّل تاريخ تطورنا بكامله اعتمادًا على تلك الطفرات الجينية العشوائية والتغيرات، التي نجمت عنها وخلقت العديد من الصفات الجديدة، التي أخذ النافع منها ينتشر عبر الأنواع. وبموجب هذه الخلافات تنافس أجدادنا مع بعضهم البعض ومع البيئة في عملية سمّاها العالم *داروين* الاختيار/الانتقاء الطبيعي Natural Selection.

وبمرور الوقت، واجهت عمليات الإنجاب الجنسي ضغوطات تطويرية استجابت لها الكائنات بطرق مختلفة. فمثلا على ذلك، استجابت إناث سمك السلمون بإطلاق عدد كبير من البويضات على أمل أنّ بعضها سيُخصّب بواسطة الحيوانات المنوية، التي يطلقها ذكور هذا النوع من السمك. إنّ وضع آلاف البيوض في قيعان الأنهار زاد من فرص احتمال تخصيب عدد منها. لكنّ هذه الطريقة ألغت وجود فرصة الأمومة والأبوّة parenting. ومهما يكن رأيكم في الآباء والأمهات، فإنّ هذا المفهوم بحدّ ذاته اضفي مزايا تطوريّة بالغة الدرجة.

وبدلًا من اطلاق عدد هائل من البويضات، اختارت أصناف أخرى من الكائنات، ومنها أسلافنا، أن تحتفظ الأم في البويضة داخل جسمها حتى يتمّ تخصيبها وتحمل أجنة حتى الولادة. وإذا شبّهنا العملية بلعبة الروليت، فإنّ أنثى السلمون وضعت رهانها على كافة الأرقام في اللعبة، بينما

كائنات مثلنا وضعت رهانها على عدد محدود من تلك الأرقام. ونتيجة إنجاب عدد محدود من الصغار، مقارنة بالثدييات الأخرى، والاحتفاظ بهم ورعايتهم، استثمر أسلافنا كثيرًا في تربية الصغار، والذي نجم عنه أنّ أطفالنا استطاعوا تطوير مهارات بعيدة كلّ البعد عن مهارات سمك السلمون، التي يولد صغارها فيتربون اعتمادًا على أنفسهم.

قادت عملية الإنجاب الجنسي إلى التنوع الفائق، الذي جعل التطور مستمرًا. ربح السلمون اللعبة وأولد صغارًا كثيرين، لكنهم لم يحظوا بالعناية والتربية من قبل والديهم. أمّا نحن فقد حمينا صغارنا الضعفاء بعد الولادة وأعطينا عقولهم الفرصة لكي تستمر في النمو ورعيناهم بتأمين فرص جديدة لهم. إنّ طبيعتنا هي التي خلقت احتمالات التطوّر لهذه الطبيعة ذاتها. وحين فزنا في اللعبة بدأنا نبني حضارة.

إنّ الحافز الجنسي هو الذي دفع أسلافنا أن يستمروا في عملية الإنجاب، حتى وإن كانوا يجهلون أسرارها. عزت الحضارات الأولى إلى أنّ هذه العملية السحرية قد تمّت بفضل الآلهة. لكنّ عقولنا بطبيعتها الفضولية أخذت تتابع البحث كي نتوصّل إلى معرفة عميقة بالعالم من حولنا. وخلال 1000 عامًا، حصل تقدّم بطيء في معرفتنا لبايولوجية الإنسان، لكنّ هذه المعرفة توسّعت بشكل كبير مع تقدّم الفلسفة وأدوات الثورة العلمية.

* * *

في عام 1677 قفز الهولندي *إنتوان فان ليهوك* من فراشه. كان هذا هو من اكتشف صنع أفضل مجهر في حينه. كان منصرفا في عمله لمعرفة طبيعة السوائل في جسم الإنسان كالدّم واللعاب والدموع. لكنّه هذه المرة اسرع لوضع بعض من حيامنه تحت عدسة المجهر، فدُهش لرؤية ما سماه «الديدان المنوية» التي تتحرك وكأنّها «إنقليس eel يسبح في الماء»[3]. وهنا تساءل عن الدور، الذي تلعبه هذه الديدان المتلويّة».

الرأي السائد في أوروبا في ذلك الوقت، والذي نشأ عند الإغريق هو أنّ الحيامن تحتوي على صور مصغرة لكائنات بشرية مستعدة للنمو homunculi.

تخطيط لصورة الكائن البشري الصغير Homunculus التي تصورها عالم الفيزياء الهولندي نيكولاس هارتسوكر عام 1694



ويكون جسد الأنثى، حسب هذه النظرية، يشبه التربة، التي نزرع فيها البذور. ذكرت نظرية أخرى على أنّ بويضة الأنثى تحتوي على كائنات مصغرة mini-mes يتوقف تحفيز نموّها على حيامن الذكر. وذكرت نظرية أخرى، وهي الأشدّ غباء، أنّ الحياة تولد تلقائيا كما الذباب من كومة اللحم الزنخ.

قام قسّ كاثوليكي ذو اهتمامات ثقافية متعددة اسمه *لزارو سپَلنزاني* بتصميم تجربة ذكية لاختبار فرضية الإنجاب. صمّم اكياسا صغيرة تمنع ذكور الضفادع من تمرير «سائلها» إلى الأناث. هذا أمر يعرفه الشباب عن ممارسة الجنس اليوم، لكنّه في القرن الثامن عشر كانت التجربة خبرا كبيرا. لا تستطيع اناث الضفادع أن تحمل إذا البس الذكور تلك الأكياس. وحين خصّب *سپَلنزاني* بويضات انثى الضفدع بنُطف من ذكر، حملت تلك الضفدعة. ما كان واضحا في حينه أنّ وجود الحيامن عنصر اساسي في حمل الضفدعة. كان ذلك اكتشافًا رائعًا[4]. تطلب الأمر 100 عامًا أخرى قبل أن يقتنع العلماء بأنّ الخلايا الجنسية للذكر والأنثى تساهم بشكل متساوٍ في خلق البويضة المخصّبة.

إنّ معرفة المزيد حول الإنجاب لدى البشر، قد قاد أجدادنا لإدراك شيء لم يفهموه أبدا، وهو بروز علم الوراثة.

* * *

لا بُدّ أنّ أجدادنا قد امضوا فترة ألف عام وهم على معرفة محدودة عن كيفية تأثير الوراثة. كلّ مرة يولد فيها ولد طويل لأب طويل وأم طويلة أعطاهم ذلك بعض الدليل. ولكن حين وُلدَ ولدٌ قصير لأب طويل وأم طويلة، حدث بعض الارتباك وبدأ الشكّ يحوم حول هذا الولد القصير، فلربما

يكون أبوه ذلك العاشق اللعوب المرح، الذي يسكن في كهف قريب. أخذ أجدادنا يستخدمون تلك المعرفة المحدودة للوراثة، فبدأوا يغيّرون العالم من حولهم.

فمثلًا لاحظ أجدادنا الذين احترفوا الصيد والتنقل من مكان لآخر، أنّ بعض الذئاب التي تقترب من مخيماتهم أكثر إلفة من غيرها. فبدأوا منذ حوالى 15 عامًا ألف عامًا، وربّما في وسط آسيا يدجّنون تلك الذئاب الأليفة ويزاوجونها مع بعضها البعض، والذي أدى في نهاية الأمر إلى الحصول على الكلاب. ولولا تدخّل البشر ولو تركت الطبيعة على حالها، لما تحوّل الذئب الفخور بنفسه إلى جِواوا كثير النباح. لقد دفع أسلافنا لخلق أنواع جديدة من السلالات.

وبنفس الطريقة دجّن الإنسان النباتات لكي تعطي محاصيل جديدة. بعد انحسار العصر الجليدي قبل ما يقرب من 12 ألف عامًا، بدأ أجدادنا إعادة زرع بعض النباتات، التي جمعوا بذورها من البرية[5]. فمنذ عهد سبق محاولات شركة مونسنتو في هندسة تعديل البذور، لاحظ أسلافنا أنّ بعض البذور تعطي في الغالب بذورا مماثلة. وبعد مرور آلاف السنين، فإنّ عملية الانتقاء والاختيار هذه، هي التي حوّلت النباتات البرية إلى ما نعرفه اليوم من الحنطة والشعير والبازلاء في الشرق الأوسط والرز والدخن في الصين والذرة والقرع في المكسيك. أدرك البشر في كافة أنحاء المعمورة كيف يمكن تدجين الحيوانات والنباتات كلّ حسب طريقته أو نتيجة تعلمهم من جماعات أخرى. لقد ساهمنا جميعا وبشكل متزايد في تأمّل طبيعة الوراثة.

لقد عرف أجدادنا كيف يقومون بعمليات الوراثة لكنّهم لم يعرفوا ماهية الوراثة ذاتها. ومنذ آلاف الأعوام قام مفكّرون مثل *أبِقراط* و*أرسطو* عند الإغريق و*چاراك* في الهند و*أبو القاسم الزهراوي* و*جودا هَلفي* في الأندلس، بطرح فرضيّات حول الوراثة عند البشر. لكنّه لم يتوصّل أحد منهم إلى فهمها بشكل كامل.

في عام 1831 قام مكتشِف إنگليزي محبّ للاستطلاع برحلة أمدها 5 سنوات لمسح مناطق سواحل أفريقيا وأمريكا الجنوبية وأستراليا ونوزيلندا، اسمه *چالز داروين*. كان ذا موهبة عظيمة لمراقبة التفاصيل الدقيقة، فدرس بعناية بيئة المناطق التي حطّ فيها الرحال، وجمع عددا كبيرا من العيّنات وسجّل عنها ملاحظات دقيقة. ولدى عودته إلى إنگلترا عام 1936، امضى 23 سنة التالية وهو في هاجس من التفكير لمراجعة نتائج ما توصّل إليه واستنباط نظريات عن كيفية تطور الكائنات. أدرك *داروين* أنّ نظريته ستهزّ مبادئ المسيحية. ولذلك رغب أن يكون متأكّدا جدّا من كلّ

شيء قبل المضي في نشر كتابه. وحين علم أنّ منافسا له لديه أفكار قريبة من أفكاره وأنّه ينوي طرحها، سارع *داروين* لنشر كتابه، الذي عنونه **عن أصل الأنواع بواسطة طرق الانتقاء/الأختيار الطبيعية.** On the Origin of Species by Means of Natural Selection، وذلك في عام 1859.

وصف *داروين* في تحفته هذه نظريته بأنّ كافة أنواع الحياة مرتبطة ببعضها البعض وأنّ الأجناس تتطور لأنّ التغيّرات الصغيرة للصفات الوراثية تتزاحم فيما بينها أثناء عملية تدعى الاختيار/ الانتقاء الطبيعي. وبمرور الوقت، فإنّ الصفات الخاصّة، التي تحمل منافع معينة في ظروف معينة تبدأ بالازدهار والتكاثر أكثر من الكائنات، التي تفتقر إلى تلك الصفات. واذا حدثت تغيّرات في البيئة، فإنّ هذه الصفات المختلفة تواجه ضغوطا تفرضها عليها العمليات، التي لا نهاية لها، كي تقوم بمسؤولية التكيّف والتطور. قد تصبح بعض الصفات النافعة في بيئة معينة عبئا في بيئة أخرى، وبالعكس. كان *داروين* واثقا من نظريته عن التطوّر، لكنّه عرف القليل عن دور الوراثة، التي تعمل حقيقة على المستوى الجزيئي molecular level. تطلب الأمر جهود عبقريّ آخر لحلّ هذا اللغز.

في الوقت الذي نشر فيه *داروين* عمله الكبير، كان يوجد راهب أوغسطيني مغمور اسمه گرِگور *مُندَل*، الذي خصّص اوقات فراغه مستعينا بفكره التحليلي وسجله المنظم جدّا، لمحاولة معرفة وفهم كيفية انتقال المزايا/الصفات من جيل لآخر.

كان هذا الراهب الذكي ابنا لفلاح حين قرر عام 1843 الإلتحاق بدير القديس أوغسطين في مدينة برونو الواقعة في جمهورية الچيك حاليًّا. انضمّ *مُندَل* مباشرة إلى مجموعة من الرهبان، الذين كانوا يحاولون معرفة انتقال الصفات الوراثية عند الأغنام. جلب صاحبنا انتباه رئيس الدير، فأرسل الشاب گرِگور ليدرس الفيزياء والكيمياء وعلم النبات في جامعة فيينا. بعد أن عاد من دراسته، أقنع *مُندَل* رئيس الدير كي يجري تجارب طموحة، فكان له ما اراد. قام بإجراء تجارب على أكثر من 10 آلاف نبتة بازلاء من سلالات متنوّعة بلغ عددها 22 نوعًا، وذلك ما بين الأعوام 1856-1863. قام بتدوين ملاحظاته عن كيفية انتقال الصفات الوراثية من جيل لآخر من تلك النبتات، واستنبط منها قوانين الوراثة التي ما زالت قائمة إلى يومنا هذا.

أولًا، أكّد *مُندَل* أنّ كلًّا من الصفات الوراثية يحمله زوج من الجينات يأتي كلّ واحد منهما من أحد «الوالدين».

ثانيًا، إنّ كلّ صفة من هذه الصفات مستقلة عن الأخرى بفعل جيناتها.

ثالثًا، إذا كان زوج الجينات مختلفين عن بعضهما البعض، فإنّ أحدهما سيكون مهيمنا على الآخر.

نشر *مُندَل* نتائج دراسته عام 1866 تحت عنوان «تجارب في تهجين النباتات» Experiments in Plants’ Hybridization، لكنّه لم تحظ الك الدراسة بانتباه أحد. قرأها القليل من العلماء حين نُشرت في **مجلة التاريخ الطبيعي**، الصادرة في مدينة برون، ثمّ طواها النسيان. وهكذا فُقِدت جهود *مُندَل* الرائعة لبعض الوقت.

حين بدأ علماء آخرون محاولة اكتشاف طبيعة العملية الوراثية عام 1900، وقعت يد أحدهم على نسخة المجلة المذكورة ودراسة *مُندَل* المنشورة فيها. وهنا تمّت إعادة زرع بذرة عصر الجينات. بعد حوالى 10 سنوات، أثبت عالم الأحياء الأمريكي *تومَس هَنت مورگِن* أنّ الجينات التي وصفها *مُندَل* منتظمة في هيئة جزيئات molecules تُسمّى **كرُموزومات**. اظهر العلماء خلال الحقب التالية كيف أنّ تلك الجينات تنتقل بين الكائنات المختلفة، فأصبحت جينات *مُندَل* هي العجلة، التي تدعم كافة اشكال الحياة. وعن طريق دمج هذه النظرية مع نظرية التطور لدى *داروين*، توفرت لدينا المفاتيح الرئيسية، التي نحتاجها لفهم الأسرار وتغيير كافة أنواع البايولوجيا، بما فيها تلك التي تخصّنا.

* * *

تكون كافة الرموز الجينية على شكل جدائل طويلة من الحمض النووي، تزوّد الخلايا «بالتعليمات» لتكوين البروتينات. لكلّ من الأنواع التي تتكاثر عن طريق العملية الجنسية، زوج من جدائل DNA في كافة خلاياها تقريبا، باستثناء خلايا الدم الحمراء. تأتي إحدى الجديلتين من الذكر والأخرى من الأنثى. ولو شبّهنا الحال بقطعة كيك، يوفر أحد الوالدين نصف مكوّناتها ويوفر الوالد الآخر النصف الثاني من تلك المكوّنات ingredients.

وبدلًا من أن تكون مكوّناتنا من الطحين والسكر والحليب والصودا baking Soda، فإنّ الحوامض النووية مكوّنة من أربعة نماذج من **النوكليوتيدات** nucleotides. تُسمّى هذه «الأسس» الأربعة، ڴوانين وأدينين وثايمين وكيتوسين، والتي يرمز لها بأحرفها الأولى GATC. تكون هذه العناصر معلقة على ما يشبه سكّتين متوازيتين مثل سكك القطار، وتكاد تتلامس مع بعضها البعض. نسمّي تسلسل عناصر الحمض النووي DNA هذه جينات. يخلق هذا التسلسل «تعليمات» يتم إيصالها عن طريق حمض الرابون النووي RNA. وهذه «أوامر» للخلايا كي تنتج پروتينات. تلعب هذه الپروتينات دورا كبيرا في خلايانا، التي تنفذ ما يُطلب منها من المهام المحددة مثل تنظيم الأنسجة وأجهزة الجسم ونقل الأوكسجين وافراز الغدد الخاصّة بالتفاعلات الكيمياوية الحيوية، إضافة إلى عملية النمو.

تتشكّل الجينات البشرية على هيئة 23 زوجًا معلقًا على جديلتي الحمض النووي في خلايانا ونسمّيها كرُموزومات. يتكفل كلّ كرُموزوم بعمليات محددة في داخل أجسامنا. يوجد لدى البشر ما يقرب من 21000 جينًا وحوالى 3.2 بليون زوجا من **الجينوم** genome، تكوّن في أجسامنا مجموعة كاملة من الجينات حيث تتواجد أزواج من Gs وCs وِAs وTs.

الجينات ذات التأثير الكبير علينا، هي التي تعطي التعليمات إلى خلايانا لتنتج الپروتينات. ولكن حوالى 99% تقريبا من مجموع الحمض النووي، ليس فيه شفرة لإنتاج الپروتينات اطلاقا. وعادة ما تسمّى الجينات، التي لا تحمل الشفرة الخاصة DNA خردة، لأنّ العلماء السابقين اعتقدوا أنّه ليست لها أهمية عمل حيوية. أمّا اليوم فننظر إلى الجينات غير المشفرة وكأنّها لاعبو احتياط لفريق كرة القدم، يقفون إلى الجانب ويصرخون بالتوجيهات والتشجيع لزملائهم داخل ساحة الملعب. في الحقيقة، هذه الجينات غير المشفرة تلعب دورا هاما في صنع جزيئات RNA، التي تحمل التعليمات من جيناتنا خارج نواة الخلية وتنظيم كيف أنّ شفرة الپروتينات في الجينات تقوم بعملها.

إنّ كلّ خلية في جسمنا فيها نواة تحتوي على مخطط blueprint لجسمنا بكامله. وعليه ستكون النتيجة فوضى إذا حاولت كلّ خلية أن تخلق شخصا بكامله. وبدلًا من ذلك، توجد في جينات الحمض النووي منظمة تسمى علم التخلق epigenetics، وهي شفرة تذكّر كلّ جين بما يجب عليه أن يقوم به فقط. فمثلا الخلية الجلدية فيها مخطط لخلية الكبد وكلّ نوع آخر من الخلايا. لكنّ شفرة

التخلق تخبر خلايا الجلد أن تنتتج خلايا الجلد فقط. ولو عدنا إلى مثلنا السابق حول كرة القدم، فإنّ كلّ لاعب في الفريق يعرف خطة اللعبة بكاملها، لكنّه يحتاج فقط أن يؤدي دوره فيها حين يُطلب منه ذلك[6].

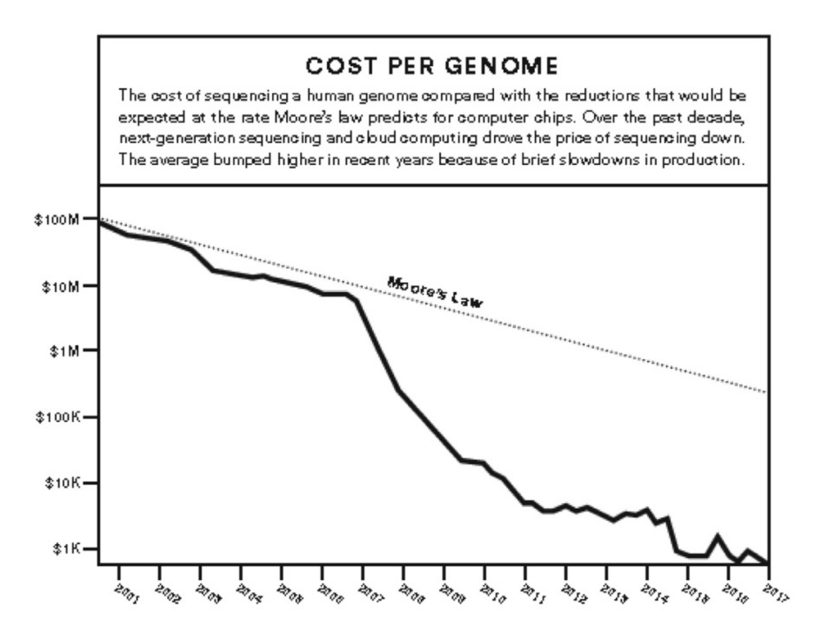
هذا هو السبب الذي يجعل البويضة الواحدة المخصّبة تنمو لتكون مخلوقا معقّدا مثلما نحن عليه. إنّ هذه الخلية الأولى تحتوي على تعليمات لتكوين الأنواع المختلفة من الخلايا، التي تتخصص كلّ منها بأداء وظيفتها المعينة. لكنّ هذه الخلايا ليست عوامل مستقلة رغم أنّها أجزاء متباينة من نظام بيئي خلوي cellular ecosystem. وكما تتعاون الأجهزة مع بعضها البعض في نظام جسمنا، فإنّ جيناتنا تؤثر على بعضها البعض ضمن ووفق نظام ديناميكي.

يبدو هذا الأمر معقدا للغاية، وهو فعلا على تلك الدرجة من التعقيد. وهذا هو فعلا السبب، الذي تطلب مئات من السنوات لفهم كيفية عمل هذه المنظومة، علما بأنّنا ما زلنا في بداية الطريق. ولكن حين توفرت لدينا الوصفة وبدأنا نفهم لغة التعليمات وطبيعة المكوّنات، وهذه جميعا ضرورية بدأنا «نخبز الكيكة». حين تعرّف العلماء على أنّ الجينات هي ألف باء لغة الحياة، فإنّهم أدركوا الحاجة لأن يعرفوا ماذا تقول تلك الحروف لكي يستطيعوا قراءة الكتاب. إنّ شكل الحلزون المزدوج للحمض النووي هو الكتيّب الذي ضمّ الحروف، والسؤال هو ماذا تقول هذه الحروف؟

كانت مهمة قراءة الجينوم البشري مهمّة صعبة للغاية بالنسبة للعلماء والباحثين، لكنّها أصبحت سهلة بفعل الأجهزة التي اخترعوها. في وسط السبعينات تمكّن عالمان من جامعة كيمبرِج وهما *فرِدرِك سانگر* و*ألِن كولسُن* من اختراع طريقة ذكية بتمرير تيار كهربائي عبر مادة هلامية لفصل جينوم الخلية وتلوين الشظايا وفرز النوكلايدونات المختلفة وفق طول وتدفق المادة الهلامية وبواسطة كامرا خاصة لغرض قراءة الأنماط الجينية. كان هذا الجيل الأوّل من تصوير وإدراك عملية تسلسل الجينوم بطيئا وعالي الكلفة، لكنّه كان خطوة نحو الأمام.

حين تمّت معرفة إنجاز هذه العملية بشكل اوتوماتيكي وقراءة أفضل لومضات الضوء التي تمرّ عبر «حروف» الحمض النووي، تمكّن الباحثون من قبيل لي هود ولويد سمِث من زيادة السرعة والفعالية لتسلسل الجينوم، ووضعا بذلك أسس خطوة كبرى للأمام. في عام 1988 أطلق **المعهد الوطني للصحة** مبادرة رئيسية لتطوير الجيل الجديد من أجهزة وضع تسلسل الحمض النووي، بدأت مرحلة أكثر طموحا من المبادرات لوضع تسلسل الجينوم بكامله[7].

قاد مشروع الجينوم البشري الجريء جهود الولايات المتحدة العالمية لوضع تسلسل وخريطة للجينوم البشري لأوّل مرة، بكلفة مقدارها 2.7 مليون دولارًا واستغرق 13 عامًا ليُستكمل في عام 2003. وفي نفس العام تقريبا توصلت شركة رائدة خاصة للعلوم يمتلكها كرگ فَنتَر إلى وضع بديل لمعرفة تسلسل الجينوم البشري، أقلّ شمولا لكنّها اسرع من مشروع الجهود، الذي قادته الحكومة. كانت هاتان الخطوتان عملاقتين بالنسبة للبشرية، وتلتهما خطوات متقدّمة أكثر. تأسست شركة **اليومِنا** Illumina ومركزها في سنتياگو وشركة **بيجي شَنجَن** B61 Shenzhen في الصين. لقد تحوّل موضوع تسلسل الجينوم إلى مشروع تنافسي سريع النمو وميدان صناعي رأسماله مليارات الدولارات. ظهر جيل جديد من الأجهزة اسمه Nanapore Sequencer، يُدفع فيه الحمض النووي كهربائيا عبر ثقوب صغيرة في البروتينات لقراءة ما تحتوي



Source: "The Cost of Sequencing a Human Genome," NIH, last modified July 6, 2016, https://www.genome.gov/27565109/the-cost-of-sequencing-a-human-genome/.

عليه مثلما يعمل شريط آلة كتابة البرقيات. ولهذه الطريقة إمكانات لإحداث ثورة في عالم التسلسل الجيني، بل أكثر من ذلك[8].

كلفة تسلسل الجينوم البشري

حين أصبحت التكنولوجيا أكثر دقة وأشدّ قوة، انخفضت الكلفة بمعدلات لا تصدق. يظهر المخطط السابق المؤشرات عن كيفية انحدار كلفة تسلسل الجينوم من 100 مليون دولارًا في عام 2001 إلى أقلّ من 1000 دولارًا في عامي 2016 و2017 على التوالي.

تستغرق عملية تحديد تسلسل الجينوم يومًا واحدًا بكلفة 700 دولارًا فقط. هذا وصرّح الرئيس التنفيذي لشركة اليومِنا *فرانسس ديسوزا* في مطلع عام 2017 أنّ الشركة ستكون قادرة على وضع خارطة تسلسل الجينوم بكامله بكلفة 100 دولارًا في المستقبل القريب. وحين تنخفض كلفة تسلسل الجينوم لتصل إلى كلفة المواد المطلوبة، تصبح القضية «سلعة» وتتوفر عنها معلومات بأقلّ كلفة. ونظرا لأنّ علم الجينوم سيكون أكبر تحدّ في كبر حجم المعلومات، فإنّ المزيد منها سيتوفر بكلفة أقلّ، وسيضع هذا الأسس لاكتشافات أكبر قادمة.

ولكن حتى لو أصبح التسلسل واسع الانتشار وسلعة تكاد تكون مجّانية، فسوف لن يعني هذا أيّ شيء ما لم يستطع العلماء أن يفهموا ماذا يقول الجينوم لهم.

* * *

لو حضرت إحدى ساكني المريخ إلى الأرض، تحدوها الرغبة لتفهم كيفية تنظيم البشر للمعلومات، فإنّها تحتاج أن تعرف أنّ لدينا أشياء اسمها سجلات، كما يجب أن تعرف أنّ تلك السجلات مكونة من صفحات فيها كلمات مكونة من حروف. وهذا مساوٍ لما نحصل عليه حين نحدّد أنّ الحمض النووي يحتوي على جينات تحتوي على كرُموزومات، تضع شفرة للپروتينات كي تخبرها بماذا يجب أن تفعل. ولو ارادت هذه المريخيّة أن تفهم ماذا تقول السجلات حقيقة، فيجب أن تعرف ماذا تعني الكلمات وكيف يمكنها أن تقرأها. ونفس الشيء ينطبق على العلماء. فإذا عرفوا الأسس، التي تنظّم بموجبها الجينات، فإنّهم يحتاجون معرفة مهام تلك لجينات وماذا تقوم به أصلًا.

الأخبار السارة هي أنّ هؤلاء العلماء بدأوا يتعلمون عددا متزايدا من الحيل، حين تمكن الباحثون منهم من إجراء المزيد من عمليات تسلسل الجينات لدى الديدان والذباب والفئران، وغيرها من الكائنات البسيطة. ساعدهم ذلك أكثر لفهم العمليات البايولوجية العامة. كما حاولوا أن يربطوا بين الاختلافات بين نماذج الكائنات المتشابهة والاختلافات بين جيناتها. وحين تكوّنت لديهم فرضيات، أولدوا كائنات تحتوي على نفس الطفرات الجينية لرؤية إن كان المواليد الجدد يحملون

ذات الصفات. في النهاية، تمكّن العلماء من «تشغيل وإيقاف» الجينات المختلفة في الحيوانات الحيّة، لكي يستطيعوا مراقبة كيف أنّ الصفات الخاصة تتغير نتيجة لذلك. لقد استعملوا معادلات رياضية معقدة لتحليل تفاعل العديد من الجينات، وقاموا بدراسات جمعية أوسع لتحليل مجموعات البيانات الجينية، التي تتزايد باستمرار.

إنّ استيعاب مجموعات البيانات الجينية مسألة معقدة للغاية، لوكان علم الأحياء يقوم على ما تظهره الجينات فقط. لكنّه أكثر تعقيدًا من ذلك. فالجين بحدّ ذاته نظام بيئي معقد يتفاعل مع الأنظمة المعقدة الأخرى داخل الكائن ومع الظروف البيئية المتغيرة حوله. إنّ نسبة قليلة من الصفات والأمراض تنتج عن جين واحد، لكنّ أغلبها يأتي من عدد من الجينات، التي تعمل مع بعضها البعض وتتفاعل مع البيئة الواسعة.

لا أحد يعرف بالضبط، لكنّ التقديرات تشير إلى مئات أو ربما آلاف من الجينات تلعب دورًا في تحديد الميزات المعقدة مثل الذكاء والطول ونمط الشخصية. وهذه الجينات لا تعمل منفردة. كان الاعتقاد السائد أنّ حمض النووي الريبي Ribonucleic acid RNA يقوم بوظيفة المراسل بين الحمض النووي DNA وعملية تكوين البروتينات داخل الخلية. لكنّه أصبح معروفا الآن أنّه يلعب دورا هاما في نشاطات الجينات. فالتخلق epigenetics يحدد الكيفية، التي تتصرف بها الجينات، وأنّ معرفة التداخل، التي تؤثر على الصفات الجينية المعقدة، كانت صعبة للغاية في الفترات الأولى من بحوث الجينوم. غير أنّ التوصل إلى معرفة النسبة القليلة من الصفات والأمراض بسبب طفرة جينية واحدة ما كان عسيرا على الفهم.

فمثلًا أمراض التليف الكيسي cystic fibrosis ومرض هنتِكّتُن Huntington's disease وضمور العضلات muscular dystrophy ومرض فقر الدم المنجلي sickle cell disease ومرض تاي ساكس Tay-Sachs، أمراض ناجمة عن طفرات في جين واحد، ويُطلق عليها اسم **أمراض مُندَل** Mendelian diseases لأنّها تتبع بوضوح **قانون مُندَل للوراثة**. تكون بعض هذه الاضطرابات مهيمنة لأنّ الطفل بحاجة إلى أن يرث نسخة من طفرة من أحد والديه لكي يُصاب بالمرض. أمّا الاضطرابات الوراثية النادرة مثل تاي ساكس، فإنّ الطفل يحتاج أن يرث طفرة من كلي الوالدين ليكون في حالة خطر الإصابة بهذا المرض. في بعض الحالات النادرة تسبب تلك الطفرات الأمراض المعينة، على الأغلب لأنّ الجينات الأخرى تواجه مثل هذه الطفرات. لقد تمّ

التوصّل إلى ما يقرب من 25 ألف مرض وفق **قانون مُندَل**. توصّل الباحثون إلى تشخيص حوالى 10 آلاف ومعرفة الجينات التي تسببها وتنجم عنها[9]. يتوفر في الوقت الحالي علاج لما يقرب من 5% فقط من تلك الأمراض.

تكون **أمراض مُندَل** في العادة نادرة جدًّا. يوجد واحد من كلّ 30 ألف طفلا من مواليد الولايات المتحدة مثلًا، يولد مصابًا بمرض التليف الكيسي وواحد من بين كلّ 10 آلاف طفلًا يرث مرض هنتِكْتُن وواحد من كلّ 7250 ذكرًا يرث مرض ضمور الأوعية الدموية. يوجد واحد بين كلّ 365 طفلا من أصل أفريقي، يولد مصابًا بمرض فقر الدم المنجلي. وهو مرض ينتشر بين الجماعات، التي عاش أجدادها في مناطق انتشر فيها مرض الملاريا. تشكّل بعض أمراض مُندَل نسبة 1 من مليون أو 10 ملايين طفلًا[1110]. يسبب العديد من هذه الأمراض معاناة كثيرة ويؤدّي إلى الموت في عمر مبكّر. ولكن لأنّها نادرة، فإنّ المجتمع ككلّ لديه حوافز أقلّ للاستثمار من أجل إيجاد علاجات لها، مقارنة بإيجاد علاجات أمراض شائعة أكثر مثل السرطان وأمراض القلب والرئتين، التي تعاني منها فئات كبيرة في المجتمع، ممّن لها صوت انتخابي وقوة سياسية، علما أنّ بعض البحوث الحديثة قد أشارت إلى أنّ المتغيّرات في جينات مُندَل قد تلعب دورًا كبيرًا في أمراض شائعة أخرى مثل سرطان البروستات المتنقل. جدير بالذكر أنّ هذه النتائج الأولية لم تغيّر هيكل المخصصات المالية الحكومية لأغراض البحوث والعلاجات[12]. ورغم وجود عدد كبير من الأمراض الجينية النادرة، فمن غير المرجّح أنّها ستحصل على الموارد المالية. دفع هذا الأمر الأمّهات والآباء في المجتمعات المعرّضة، التي تجد نفسها في خطر أكبر، أن يجدوا أملًا في التقنيات الجينية باعتبارها الوسيلة الممكنة لحماية أطفالهم في المستقبل.

* * *

الأطفال الذين يولدون وهم مصابون بمرض تاي ساكس، وهو مرض وراثي ناجم عن طفرة جينية في الكروموزوم رقم 15، يبدون طبيعيين عند الولادة، لكنّ الخلل في الجهاز العصبي يبدأ مباشرة. لدى وصول الطفل إلى سنّ الثانية تبدأ نوبات التشنج الرهيبة بالظهور مصحوبة بقصور القدرات العقلية. يُصاب الكثيرون منهم بالعمى وانعدام التجاوب، ويموت اغلبهم في عذاب وهم دون 5 سنوات من العمر. يوجد 1 من بين كلّ 27 شخصا من اليهود الأشكناز ممّن يحمل طفرة تاي

شاكس ومات المئات منهم كلّ عام نتيجة هذا المرض. أمّا اليوم فلا يموت أحد بسبب معجزة علمية وجهود منظمات اجتماعية.

بعد أن حدّد العلماء عام 1969 الإنزايم enzyme الحامل لمرض تاي ساكس، قاموا باستحداث فحص للدم لمعرفة كيفية حمله من قبل الوالدين. تحركت الجاليات اليهودية حول العالم، وفي أمريكا قامت دور العبادة والمراكز الاجتماعية، ومعها تلك التي في كندا وأوروبا وإسرائيل بحملات لكشف المرض. مُنع الأزواج الذين يحملون إنزيمات المرض من الإنجاب وشُجّعوا على التبنّي، وأصبح إجراء الاختبار إلزاميًّا قبل اصدار الوثيقة الصحية قبل اكمال مراسيم الزواج. كما نُصِحت الأمهات الحوامل، اللواتي وُجد أنّ اجنتهنّ تحمل المرض، بإجراء عمليات إجهاض فورية. وهو خيار قاس، لكنّه أرحم بالمقارنة مع مراقبة الأطفال وهم يموتون عذابا بسبب المرض في سنّ مبكّرة. لعب رجال الدين من اليهود الأرثوذوكس دورًا فعّالًا في تشجيع الراغبين في الزواج على إجراء فحوص جينية ودفع المرشحين لإلغاء فكرة الزواج بين من يحملون إنزيم هذا المرض.

مع التقدم الحاصل في عمليات تسلسل الجينات، فإنّ الطفرات الجينية المسؤولة عن مرض تاي ساكس قد تمّ تحديدها عام 1985، كما تمّ تحديد الطفرات الأخرى المتعلقة بهذا المرض منذ ذلك العام. أصبح مرض تاي ساكس نادرًا جدًّا بين اليهود بسبب تلك الإجراءات.

في ضوء المنافع التي أثبتتها فحوص الجينات وعلاقتها والقضاء عل مرض تاي ساكس، بدأ الباحثون وواضعو السياسات يدعون إلى «اختبارات جينية موسعة» لتحديد كافة الجينات، التي تحمل أمراضًا من تلك، التي وردت في **قائمة مُندَل** والمخاطر، التي تنجم عنها على حياة الأطفال[13].

كان مستوى مقاييس تسلسل الجينوم وإنزيم الكيمياء الحيوية اختراقات هائلة للمساعدة في منع انتقال الأمراض الجينية البسيطة. لكنّ التحليل الجيني وحده لم يغيّر الطريقة، التي يتكون فيها الأطفال ويولدون، ما لم نرفق ذلك بطرح البدائل، التي توصلت إليها المعرفة[14]. إنّ المزج بين الإخصاب الفعلي وفحص الأجنة قد خلق آلية مكّنت التحليل الجيني من تغيير عملية إنجاب الأطفال بشكل مستساغ. إنّ هاتين الثورتين قادمتان لا محالة، وقد ظهرتا في الأفق منذ أمد بعيد.

* * *

بعد مرور قرن تقريبا على تجربة *سپالنزاني* لاستعمال الواقي الذكري condom بين الضفادع. جرت دراسة بويضات الأرانب عام 1878 من قبل عالم الأجنة النمساوي *صاموئيل ليوپولد شَنَك*،الذي زامل گريگور *مُندَل* حين درسا في جامعة فيّنا. وجد *شَنَك* أنّه حين وضع الحيمن مع البويضة المعزولة في دورق مختبري، لاحظّ أنّ البويضات بدأت بالانشطار. كانت تلك هي السنوات الأولى لمعرفة عملية الاستنساخ. غير أنّ *شَنَك* ظنّ بشكل صحيح أنّ تلك البويضات قد تمّ تخصيبها، وأنّ بويضات الحيوانات الثديية يمكن أن تزرع في رحم الأنثى كي يبدأ الجنين نموّه. من الناحية النظرية، هذا صحيح لكنّه من الناحية العملية ليس كذلك. تطلب الأمر حوالى 80 عامًا حتى تمكّن العالم الأمريكي *أم سي چانگ* من زرع بويضة ارنب مخصبة في دورق مختبري داخل رحم أنثى، فظهر استعمال المصطلح اللاتيني in vitro. لكنّ زرع جنين أرنب بعيد كلّ البعد عن زرع جنين بشري. غير أنّ هذا واقع في المستقبل.

خلال الاجتماع التاريخي لجمعية الطب الملكية في لندن عام 1968، تحدّث باحث الطب الحيوي *روبرت إدوَردز*، وهو من أوائل أطباء العالم وخبرائه في نمو البويضات البشرية، مع الجراح الرائد والمتخصص في فحوص حوض المرأة وطبيب التوليد *پاترِك ستَپتَو*. اقترح *إدوَردز*، إن كان من الممكن اللجوء إلى تطبيق الإخصاب المختبري in vitro لمعالجة النسوة اللواتي يعانين من العقم. تعاون الاثنان خلال الحقبة التالية وعملا بشكل دؤوب ونشرا سلسلة مقالات علمية باهرة رفيعة المستوى، وصفا فيها كافة الجوانب المطلوبة ليكون بالمقدور زرع البويضات المخصّبة في المختبر داخل رحم المرأة.

شرع *ستَپتَو* وزميله *إدوَردز* عام 1972 في محاولة لتطبيق تلك العملية على البشر. عملا بمساعدة الممرضة جين *پوردي* واستخرجوا بعناية فائقة أكثر من 100 بويضة من نسوة مختلفات وقاموا بتخصيبها بحيامن من أزواجهن، ثمّ زرعوا البويضات المخصبة في أرحام الأمهات المحتملات. فشلت تلك المحاولات بالكامل. في عام 1976 استطاعت إمرأة أن تحمل نتيجة زرع بويضة مخصّبة في رحمها، لكنّ عملية الحمل فشلت لأنّ الجنين بدأ في مراحله الأولى ينمو خارج الرحم. في عام 1977 تطوّعت ربة بيت من مدينة برِستُل في إنگلترا واسمها *لزلي براون* لإجراء العملية. حضر معها زوجها جون وهو عامل في سكك الحديد. كان الزوجان قد يأسا من الإنجاب بعد زواج استمر لمدة 9 أعوام.

أصبحت *لزلي* حُبلى من أوّل بيضة مخصّبة زُرعت في رحمها. وبعد 9 أشهر وبتاريخ 25 يوليو من عام 1978، ولدت لهما طفلة بصحة جيدة سمّوها *لويز*، فطلعت صحف اليوم التالي حول العالم وهي تصف الوليدة الجديدة بأنّها «طفلة القرن». بعد عدة أشهر أجاب حوالى 93% من الذين تمّ استفتائهم من الأمريكيين بأنّهم قد سمعوا عن الطفل الذي وُلِد في إنكَلترا من بيضة مخصّبة خارج رحم الأمّ[15].

في الحقيقة أنّ البويضة التي نشأت منها *لويز*، وغيرها من المواليد فيما بعد، قد خُصّبت بحيمن في دورق طبي في المختبر خلافا للاعتقاد السائد بأنّ التخصيب يتمّ في انبوب زجاجي، كما نراه في المختبرات. لكنّ الأسم «التحقيري» «أطفال الأنابيب» ظلّ ملازما لهم. عبّرت غالبية الأمريكيين من خلال استبيان أجرته موسسة Pew في ذلك العام عن نظرة إيجابية حول عملية الإنجاب هذه[16]. كان للبعض الآخر وجهة نظر مخالفة. اعتبرها رجال اللاهوت الكاثوليك «عملية غير طبيعية» و«رَجس أخلاقي» لأنّها لم تقم على ممارسة العملية الجنسية بين الزوج والزوجة، ولأنّها تولد أجنّة خارج الأرحام ويجب التخلص منها[17]. أمّا جمعية الأطباء الأمريكيين فاعتبرت


Evening News

Meet Louise, the world's first test-tube arrival

SUPERBABE

Wide-eyed Louise Brown pictured in hospital 18 hours after she was born. Today she's doing well. See Page Three

الوليدة ***لويز براون***

أطفال الأنابيب عملية عدوانية للغاية. اعتبرتها **مجلة نوفا** بأنّها «أكبر تهديد منذ القنبلة الذرية». أمّا *ليون كاس*، المتخصص بشؤون الأخلاق في مهنة الطب فذكر، «إنّ فكرة الإنسان في الحياة البشرية تمثل تجسيدنا لها ككائن جنسي ذي علاقة بأجدادنا وأسلافنا»[18]. ازدحم صندوق بريد *لزلي* وجون *براون* بالعديد من رسائل الكراهية، بما فيها رزم احتوت أجنّة مصنوعة من البلاستِك مغطاة بالدم.

وكما حدث في مواقف كهذه، فإنّ عملا يُعتبر في البداية صدمة يُصبح بمرور الوقت أمرا عاديّا ومقبولا. وحين أصبح «علم أطفال الأنابيب» أقلّ إثارة للجدل ومع تطوّر المفهوم ذاته، بدأ العلماء يتصوّرون الحدود والجبهات القادمة. طُرِح سؤال مفاده، لماذا لا نأخذ الخلايا، التي تنمو خلال المرحلة المبكّرة للأجنّة قبل زرعها خلال فترة التخصيب خارج الرحم، ونقوم بمسح تسلسلها الجيني باستخدام التكنولوجيا المتقدّمة؟

في عام 1967 قام الرائدان في قضايا الإخصاب المختبري IVF *روبرت إدوردز ورِچَرد گاردنر* بوصف عمليتهما لنقل عدد من الخلايا من جنين أرنب قبل زرعه ومراجعتهما باستعمال المجهر لمعرفة جنس ذلك الأرنب وفيما إذا كان ذكرا أم أنثى[19]. في عام 1990، وبعد ولادة *لِويز براون*، نجح الأطباء لأوّل مرّة في تحرّي جنين بشري لمعرفة جنسه وفيما إذا كان يوجد بعض الخلل المتعلق بقضايا الجنس في أحد الجينات. سُمّيت هذه العملية **التشخيص الجيني قبل الزرع** PGD. تطوّرت عملية الكشف والمراجعة بسرعة، خاصة بالنسبة للأمّهات، من احتمال خطورة عالية. تمّ بشكل متواز تطوير عملية **تحرّي الجين قبل الزرع** PGS. استُعمِلت هذه الطريقة لتحري جينات لا يُشكّ بحملها لأيّة أمراض وتقييم نموّها. تمّ في الآونة الأخيرة الربط بين العملتين PGD وPGS في عملية واحدة سُمّيت عملية **اختبار الجين قبل الزرع** PGT.

دخل استعمال هذه العملية الميدان منذ 30 عامًا تقريبا، لكنّ هذه الأيام ما زالت تعتبَر مبكرة بالنسبة إلى هذه العملية الهامة التي لا تُصدّق. استعمل العلماء طريقة PGT أوّلا لاختبار أيّ خلل موجود في الكرُموزومات يسبّب الإجهاض، ثمّ بُدأ باستعمالها لاختبار عدد صغير من الأمراض الجينية المحددة، التي تسبّب الطفرات. أمّا اليوم فتستعمَل لمسح وتحري ما يقارب 1000 طفرة جينية لمعرفة الخلل في الجين الواحد[20]. وهذا لا يُشبِه اختبار ما قبل الولادة للجنين في الرحم. يمكن استخدام اختبار PGT على عدد من البويضات المخصّبة في المرحلة الأولى أو ما تسمّى الكيسات الأريمية blastocysts في دورق المختبر.

وُجد في اغلب الحالات التي استعمِل فيها اختبار PGT على الأجنّة غير المزروعة بعدُ، أنّ الأمراض نادرة للغاية من الناحية الفردية. ولكن إذا نظرنا إليها كمجموعة فإنّ الاستنتاج ليس دقيقًا. تختلف الإحصاءات، غير أنّ الدراسات الحديثة قدّرت إمكانية وجود تلك الأمراض بين الأطفال الذين يولدون بطريقة تقليدية بنسبة 1-2%[21]. ولكن مع زيادة أعداد الأطفال الذين يولدون من خلال

اختبار PGT وعملية IVF من الذين خضعت جيناتهم للفحص والمراقبة (طفرة جينية واحدة)، فإنّ النسبة انخفضت على نطاق واسع[22]. أمّا بالنسبة للخلل الجيني الضار، فيمكن تجاوزه بزيادة استخدام PGT وIVF. على الوالدين أن يوازنوا بين الكلفة والمنافع بين ممارسة العملية الجنسية أو الإخصاب في المختبر. وفي الوقت الذي تجني فيه الأمّ المنافع الصحية الكثيرة من خلال ممارسة الجنس، لا بُدّ من التذكير ببعض الخطورة المحدودة، التي قد يتمّ كشفها والتي تتعلق بعملية الإخصاب في المختبر، فإنّ المنافع الصحية المتوقعة لهذا النوع من الإخصاب وفحص الجنين قبل زرعه ستتزايد بمرور الوقت.

دعونا نفكّر للحظة بما يقوم به الوالدان من الاحتياطات لحماية أطفالهم من الضرر ومساعدتهم للنمو بشكل صحي. تتناول الأمهات الفيتامينات أثناء الحمل، ويغسلن أيديهن وأيدي أطفالهن بشتى أنواع المواد المضادة للبكتريا. يربطنهم بالأحزمة الخاصة في داخل السيارات ويُلبسنهم قبعات واقية حين يركبون دراجاتهم، ويعددن لهم وجبات الطعام الصحية. برغم تفاوت درجة الخطورة، بدأ الآباء والأمهات الحديثون يعتقدون أنّ جزء كبيرا من واجباتهم يتضمّن تقليص المخاطر على أطفالهم لأقصى قدر ممكن. وفي الغالب فإنّ الأولياء الآخرين يزدرون فكرة الخيارات المختلفة. وخير مثال على ذلك موقف حركة الأولياء في أمريكا من مسألة مقاومة تلقيح أطفالهم.

حين أصيب 147 طفلًا بالحصبة نتيجة رفض أوليائهم التلقيح ضدّ هذا المرض عام 2015 بعد تعرّضهم له حين زاروا پارك دزني لاند، إرتفعت موجة الإدانة لأولئك الأولياء لأنّهم عرّضوا المئات من الأطفال الآخرين لانتشار هذا المرض بينهم[23]. وفي ذات الوقت ادّعى أولئك الأولياء بأنّهم يعطون أطفالهم أشياء «طبيعية» لتقوية مناعتهم، بدلا من اللقاحات الطبية المضادة للأمراض القابلة للعدوى. من الصعب على الفرد أن يدافع عن موقف هؤلاء.

لقد انقذت اللقاحات الطبية حياة ملايين الأطفال حول العالم، منذ استخدام اللقاح المضاد لمرض الجدري في القرن التاسع عشر في انكَترا. وتشير الدراسات المتكررة حول العالم بوضوح وبرهنت على سلامة الأطفال والمجتمعات والمنافع التي تعود عليهم نتيجة استخدام اللقاحات[24]. ومع ذلك فإنّ المخاوف التي لا أساس لها والجهل الذي يُطبق على عقول بعض الأولياء ما زال موجودًا. ظهرت في السنوات الأخيرة ادعاءات لبعض الأشخاص المشهورين مثل *جَني مككارثي* وجِم كَري ودونلد *ترامپ*[25]، كنماذج ابرزت ادعاءات غير مسندة علميّا حول مخاطر اللقاحات،

فزاد هذا من عدد المناوئين لها، وبالتالي ازداد عدد الأطفال غير الملقحين بنسبة 4 مرات أكثر منذ عام 2001[26]. إنّ هذا النوع من الاختلافات بين ذوي الأطفال للتحكّم أو رفض التقدم العلمي غير الطبيعي، موجود أيضًا فيما يتعلق بأمر كشف الجينات وفحصها.

بسبب الإرتفاع الحاصل في عدد أمراض الطفرات الوراثية في الخلية الواحدة نتيجة استخدام PGT وIVF، من أجل فحص ومراجعة واختيار الأجنة في المختبرات قبل زرعها في أرحام الأمهات، يتعيّن على الوالدين أوّلًا أن يجدا حلًّا وسطًا بين معتقداتهما بشأن إنجاب الأطفال عن طريق ممارسة الجنس، مقابل كشف وفحص الأجنة في المختبر. لن تكون هذه بمرور الزمن مسألة بسيطة. إنّ تجنب الأمراض الجينية تدريجيًّا مع الوقت والقضاء عليها، سيصبح الأولياء، الذين يفضلون ممارسة الجنس بشكل تقليدي لإنجاب الأطفال، كمثل الذين يعارضون بحماس استخدام اللقاحات الطبية لتقوية مناعة أطفالهم ضدّ بعض الأمراض المعدية.

في الوقت الذي تتغيّر فيه الأعراف الاجتماعية حول إنجاب الأطفال، سيرى بعض الرجال والنساء أنّ الحصول على الأطفال نتيجة العملية الجنسية، مسألة فيها خطورة ولا وضرورة لها. وبطبيعة الحال، سيستمر الناس في ممارسة الجنس لكلّ الأسباب الرائعة الأخرى التي نعرفها اليوم، ولكن دون التفكير بالحصول على الأطفال عن طريقتها. سيميل المزيد من الأولياء على الإخصاب خارج جسم الأمّ، لكي يمكن وضع تسلسل للأجنة يسمح بفحصها واختيارها وتعديلها، وفي المستقبل البعيد الإضافة اليها.

بالرغم من أنّ بعض الأولياء سوف لن يُقدِموا على هذه العملية لأسباب أيديولوجية، أو لأنّهم يُثارون جنسيًّا وهم جلوس في المقعد الخلفي لحوّامة hovercraft، فإنّ الحمل بهذه الطريقة ستكون له عواقب. كم من الناس راقب طفل الجيران وهو يذوى ألما ويموت بسبب خلل في الجينات، كان يمكن تحاشيه؟ قبل أن يبدأوا ملامة أولئك الجيران، هل سينظرون اليهم باعتبارهم أبطالًا لاستعمال العلاجات «الطبيعية» كما تحجّجوا في حادث پارك دِزني لاند، أم أنّهم مؤمنون بايديولوجية دفعتهم لارتكاب مخاطرة الحقت الأذى بأطفالهم، وربّما قضت على حياتهم؟

جرت في السنوات الأخيرة اختبارات في آيسلندا لتقييم الحدّ الذي يذهب إليه الأولياء لوقف الخلل في الجينات لدى أطفالهم.

* * *

الأطفال المصابون بمتلازمة داون يولدون بنسخة إضافية من الكرُموزوم رقم 21، الذي يقود إلى عيوب القلب والضعف الإدراكي والإصابة بالسرطان وخطر الوفاة، وغيرها من التعقيدات الصحية الأخرى. ومع ذلك يعيش الكثير منهم حياة سعيدة ويعملون بشكل طبيعي ويقدمون الخدمات للأفراد والمجتمع من حولهم. ينظر العديد من الناس إلى الأطفال المصابين بهذه المتلازمة وإخوانهم وأصدقائهم، بأنّهم بركة من نوع خاص.

منذ عام 2000 أبلِغ الأطباء في آيسلندا أنّه يُفرَض عليهم أن يُخبروا الأمهات الحوامل بأنّه توجد اختبارات لفحص الأجنة تتولى خطة التأمين الصحي الوطنية كلفتها، ويمكن أن تشخّص بدرجة عالية من التأكيد إنْ كان الجنين مصابًا بمتلازمة داون، أو أيّ خلل جيني موروث. منذ الحقبة الأولى وحين أصبحت هذه الاختبارات متيسّرة، فإنّ كافة الأمهات الحوامل، اللواتي أبلِغن بإصابة أجنّتهن بهذا المرض، طلبن عمليات إجهاض[27]. إنّ معدّلات الإجهاض لهذا السبب في آيسلندا تبعت مسيرة ما جرى في بلدان أخرى مثل أستراليا والصين والدنيمارك والمملكة المتحدة، حيث بلغت نسبة الإجهاض للتخلص من الأجنة المصابة بمتلازمة داون 90-98% [28].

نتيجة للخلط المتعمّد القائم على إدخال موضوع الدين في عمليات الإجهاض، تُعتبر الولايات المتحدة من عدة وجوه أكثر الشعوب نشازًا بين البلدان النامية. جرى استفتاء عام 2007، عبّر فيه حوالى 20% من مجموع الأمريكيين عن اعتقادهم بأنّه بإمكان الأمهات الحوامل أن يتخلصن من الأجنة المصابة «لأنّها تحمل مرضًا وراثيًا جدّيًا غير مميت»[29]. غير أنّ 67% من الأمريكيين اختاروا إجهاض الأجنة التي تحمل متلازمة داون بعد تشخيصها[30]. إنّ الفرق الشاسع يظهر التفاوت الكبير بين وجهات النظر المتطاحنة عند اتخاذ مثل هذه القرارات[31].

أصدرت ولايات أوهايو وإنديانا ونورث دَكوتا عام 2017 قوانين مُنِع بموجبها الأطباء في تلك الولايات من إجراء عمليات الإجهاض للأجنة التي تحمل متلازمة داون. وإذا لاحظنا زيادة مواليد الأطفال المصابين بهذا المرض في تزايد في تلك الولايات خلال السنوات التالية، سنعرف أنّ تشريع قوانين كهذه قد أدّت عملها. وإذا لم يحدث ذلك، فعلينا أن نفترض أنّ الآباء والأمهات قد وجدوا بدائل أخرى للتعبير عن رغباتهم في قضايا إنجابِهم للأطفال.

لو كان اغلب الأمهات والآباء في العالم النامي قد اقدموا على اتخاذ القرار المؤلم غالبًا لإجهاض الجنين المصاب بمتلازمة داون أو غيرها من الأمراض الجينية التي تمّ تشخيصها، تصوّر ماذا سيحدث لو كان القرار شحناً حول ما يقرب من 15 من الأجنة الموجودة في دورق المختبر،

والتي تنتظر الزرع؟ إنّ كافة هذه الأجنّة لو زُرعت لكانت أطفالًا «طبيعيين» للأمهات والآباء. ولكن واحدًا أو اثنين منهم يتمّ اختياره لعملية الزرع في رحم الأمّ.

الأطباء الذين يمارسون عمليات الإخصاب المختبري في عياداتهم، عادة ما يختارون الأجنة، التي تقلّ فيها نسبة الإجهاض. هل نتوقع من الأمهات المحتملات أن يتخذن موقفا محايدا بصدد الأجنة قبل زرعها في أرحامهنّ، إن كان بعضها يحمل أجنة مهلكة ستعيش حياة قصيرة؟ هل نريد أن تكون الجهة القانونية هي ما يلجأ إليه الأمهات والآباء لكي يختاروا بطريقة إيجابية زرع أجنة تحمل متلازمة داون أو محكوم عليها بالموت المبكّر وهي تتعذب نتيجة المعاناة من أمراض مثل هَنتِنگتن وتاي ساكس، إذا كان ذلك من الخيارات؟

حين شرعت في إعداد كتابي هذا سألت من يقرأون صفحتي في الفيسبُك، إن كانوا يرغبون في مراجعة وفحص الأجنة gene editing كي يوفروا لأطفالهم في المستقبل قدرات وصفات إضافية. بعثت إحدى صديقاتي القديمات تقول:

> *معضلة صعبة. أعتقد أنّه لوكان الأمر بيدي، لكنت فضّلت أن يكون طفلي بدون متلازمة داون. لكنّ حياتنا قد أثرت نتيجة هذا التشخيص. توجد لدينا دائمًا «عائلة أخرى» مستعدة لتقديم المساعدة، مهما كان نوعها. وهو يعلمني شيئًا جديدًا كلّ يوم في حياتي. إنّه من أفضل الأطفال في سنّ 5 سنوات وأكثر متعة وهو مضحك للغاية. ولكن من ناحية أخرى، لو كان بيدي أن أمنع المعاناة التي يواجهها ويستمر في مواجهتها كلّ يوم، أعتقد أنّني كنت رغبت في منع حدوث هذا الموقف أصلًا. كافة الآباء والأمهات يريدون لأطفالهم حياة سعيدة متفوقة تؤمن لهم تلك السعادة.*

القول بأنّ الآباء والأمهات لا يختارون زراعة الجنين، الذي يحمل متلازمة داون، لا يقترح إطلاقا أنّ الأطفال الموجودين المصابين بهذا المرض أو أيّ خلل وراثي، أقل أهمية من حياة أيّ فرد آخر. ولكنّ الأزواج حول العالم بدأوا يتخذون القرارات الصعبة بدون تردد لرفض الجنين المختبري إذا تبيّن من خلال الفحص أنّه يحمل أيّ خلل وراثي، قبل عملية زرع الجنين وبدأ فترة الحمل الفعلي. إنّ تحرّي الأجنة المختبرية وفحصها قبل زرعها مسألة أقلّ وحشية بكثير من عملية الإجهاض.

ستكون لدى الحكومات وشركات التأمين، خاصة أمام المحاكم حول نظام الرعاية الصحية حيث لا يُسمح الحديث عن الإجهاض، دوافع هامة للجوء إلى الإخصاب المختبري IVF وفحص الأجنّة قبل زرعها لتحاشي عواقب كلفة رعاية تستمر مدى الحياة لأولئك الذين يحملون أمراضا وراثية[32] دعونا نجري حسابا لتوضيح هذه النقطة.

يقضي معظم الأطفال المولودين وهم يحملون الأمراض الوراثية فترة 3 أسابيع في أقسام الرعاية المركّزة لحديثي الولادة في المستشفيات بكلفة 3 آلاف دولارًا يوميًّا، أي ما يعادل 60 ألف دولارًا. وفي الغالب تبدأ الكلفة بالزيادة مباشرة[33]. فمثلًا يبلغ متوسط الكلفة السنوية للطفل المصاب بمرض التليف الكيسي cystic fibrosis حوالى 15571 دولارًا. ونظرا لأنّ متوسط حياة كلّ من هؤلاء 37 عامًا، فإنّ الكلفة تبلغ ما يقارب 600 ألف دولارًا. ولو افترضنا وجود 30 ألف طفلا مصابا بهذا المرض في الولايات المتحدة، فإنّ الكلفة السنوية ستكون بحدود 467 مليون دولارًا[34]. ولو طبقنا نفس المعادلة، فإنّ الكلفة ستتراوح بين 100-150 مليون دولارًا لمعالجة 30 ألف طفلًا مصابًا بمرض هَنتِنگتن، إضافة إلى 850 مليون دولارًا لمعالجة 200 ألف طفلًا من المصابين بمتلازمة داون[3635]. كافة هذه الكلف استثمار ضروري لا مناص منه في أشخاص نحبّهم، ويستحقون كلّ فرصة ممكنة كي يحققوا إمكاناتهم باقصى قدر ممكن وليستمتعوا بحياتهم، ولا يمكن تحديد ثمن من أجل تخفيف معاناة كلّ فرد منهم.

وبطبيعة الحال، نقدِم على اتخاذ هذه القرارات كلّ يوم من خلال المؤسسات التي نتعامل معها. ولو استعملت الولايات المتحدة الناتج المحلي الإجمالي الكامل FGDP لعلاج مرض معيّن، فهناك احتمال عال بأنّنا سنحقق تقدّما ملموسا ومهمّا. إنّنا لا نقوم بهذه الاستثمارات لأنّنا غير مبالين بهذا المرض أو ذاك، لكنّ المجتمعات تتطلب التوازن بين اهتماماتها والتفاضل فيما بينها. وحين يصبح فحص الجينات قبيل الزرع فرصة متوفرة لكافة المواطنات والمواطنين، فإنّ المنافع الاجتماعية ستفوق الكلف المالية، وغيرها من الأمور.

إذا كانت عملية كشف الأجنة وفحصها في الولايات المتحدة لمعرفة العديد من أنواع الخلل والأمراض الوراثية قبل زرع الأجنّة في الأرحام، ستكون أقل كلفة ولو بدولار واحد عن الكلفة الكاملة لمعالجة الأفراد المولودين وهم يحملون اشكالا من الخلل الوراثي، فإنّ المجتمع سيكون أفضل من الناحية الاقتصادية. لكنّ الأهم هو تخفيض مستويات الألم والمعاناة أو القضاء عليها

أصلا. لو قسّمنا مجموع الكلفة السنوية الكاملة لمعالجة كافة من يحملون الأمراض الوراثية على عدد الأطفال الذين يولدون في الولايات المتحدة، سيعطينا هذا تخمينات أوليّة عن النقطة اتي يستطيع فيها الآباء والأمهات المحتملين استغلال فرصة كشف الأجنة وفحصها واختيارها قبل عملية الزرع، بدون كلفة يتحملها المجتمع. إنّ إجراء حسابات بسيطة سيساعد على فهم هذه المسألة.

يولد في الولايات المتحدة سنويا ما يقرب من 4 ملايين طفلا. وإذا افترضنا أنّ 2% منهم يولدون وهم يحملون أمراضا وراثية، فإنّ العدد سيكون 80 ألف طفلًا[37]. ستكلف العناية الصحية لكلّ من يحمل مرض التليف الكيسي 600 ألف دولارًا، أي بمقدار 48 بليون دولارًا خلال العمر المتوقع لهؤلاء وهو 37 عامًا. ولو عملنا بموجب برنامج لفحص الأجنّة وتحرّيها، فإنّنا نحتاج وفق كلفة اليوم ما مقداره 16500 دولارًا لإجراء فحوص وتشخيص بويضات كلّ امراة باستخدام IVF وPGT. ولو ضمّنا في حساباتنا كلفة بعض الأمراض الجينية وشبه الجينية الأخرى، التي تظهر في فترة متأخرة من حياة الفرد كمرض السكّري والنّسيان وبعض أمراض السرطان، فإنّ كلفة 16500 دولارًا سترتفع قليلًا.

إنّ كلفة الإخصاب المختبري IVF في الولايات المتحدة عالية بشكل ملحوظ وتتفاوت ما بين 12 ألف دولارًا و30 ألف دولارًا. ونظرا لأنّ بعض النسوة يحتجن إعادة العملية 3 مرات، تصبح هذه الكلفة خارج إمكانيات أغلب الأمريكيين[38]. غير أنّ هذه الكلفة أقلّ بكثير في بعض البلدان الأخرى. تبلغ في تركيا 8500 دولارًا وفي بريطانيا 8000 دولارًا وفي إسپانيا 5600 دولارًا وفي المكسيك 4000 دولارًا وفي كوريا 3000 دولارًا وفي پولندا 1200 دولارًا[39]. في إسرائيل، يكون الإخصاب المختبري ضمن التأمين الصحي الوطني لكافة النسوة دون سن 45 عامًا، وتصل نسب النجاح إلى درجات عالية. حتى كلفة من يأتين للسياحة العلاجية لهذا الغرض منخفضة جدًا[40].

لو أنّ كلفة الإخصاب المختبري واختبار الجينات في الولايات المتحدة بقيت على حالها عالية، يكون بمستطاع العائلات متوسطة الدخل أن تذهب إلى بلدان أخرى لهذا الغرض. وحين يصبح الإخصاب المختبري ومسح الجينات هي المعيار، سيطلب الأولياء حول العالم توفر هذه الخدمات ضمن خطط التأمين الصحّي. وهذا يعني أنّ المختبرات التي تتولى عمليات الإخصاب ستضطر إلى تخفيض الكلفة، لكنّ نوعية الخدمات الخاصّة بمسح جينات الأجنّة سترتفع أكثر[41]. إنّ

جهود المستهلكين ومقدّمي الخدمات الطبية وشركات التأمين والحكومات ستلقى التشجيع لتحقيق هذا الهدف.

تفكّر الشركات بهذا الموضوع مسبقا. في عام 2004، أعلنت شركتا أپل وفَيسبُك بأنّهما تتحملان كلفة تجميد بويضات النسوة العاملات في الشركتين المذكورتين. تعرّضت هاتان الشركتان للإدانة من قبل بعض الناشطات في ميدان حقوق المرأة واعتبرن أنّ الموضوع لا يتعدّى كونه أنّ تؤخر النسوة إنجاب الأطفال لكي يواظبن على أعمالهن[42]. غير أنّ البعض من النسوة العاملات في شركة فيسبُك، مثل *شَرِل ساندبَرگ*، رأينّ في تلك الخطوة تعزيزا لقوّة المرأة وتحكّمها في اختيار البدائل المتوفرة لها[43]. ومنذ ذلك التاريخ، سارعت شركات أخرى مثل أمَزون وگوگِل وإنتَل ومايكرُسوفت وسپوتفاي وويَفير لعمل ما عملته أپل وفَيسبُك. ثم ذهبت بعض الشركات الأخرى إلى ابعد من ذلك بضم كلفة الإخصاب المختبري إلى خطة التأمين الصحي للعاملين فيها. من هذه الشركات ستاربكس وأوبَر ونيوزكورپ. وفق استفتاء اجرته مؤسسة فرتِلِتي آي كيو، ذكرت النسوة العاملات في الشركات التي أمّنت كلفة الإخصاب المختبري أنّهنّ يشعرن بزيادة هامة في مشاعر ولائهن للشركات التي يعملن فيها[44]. وكلما ازدادت مساهمة الشركات في توفير هذه الخدمات للنسوة العاملات فيها، كلما ازدادت حدّة التنافس لأداء أفضل.

إنّ تقاطع انخفاض الكلفة وسعة انتشار استخدام تسلسل الجينوم والإخصاب المختبري واختبار الأجنّة وتغيير المواقف الثقافية ونماذج التمويل، سيدفع الكثير منّا لإنجاب أطفال في المستقبل بطرق تختلف عمّا نحن عليه الآن. سيتم التخلي عمّا عملناه في المقاعد الخلفية للسيارات لأنّ الآباء والأمهات سوف لن يجنوا منافع اختيار الأجنّة السليمة، إذا استمروا في ممارسة الجنس لهذا الغرض. وهذا العزوف عن الطريقة الطبيعية لإنجاب الأطفال سيكون ممكنا إذا استمر فهمنا للجينوم يمضي قدُما في ضوء تقدّم فهمنا لجيناتنا وكيف تتصرّف[45].

إنّ تقييمنا لكيفية فهمنا لعملية استخلاص الخلايا من الأجنة قبل زرعها واستخدام نظام فحصها وتقييمها وفق اختبار PGT يتطلب منّا أن نطرح على أنفسنا أسئلة عن الجينات التي نريدها، وما هي أهميتها في تقرير ما نحبّ أن يكون عليه أطفالنا.

الفصل الثاني
تسلق سلم التعقيدات

لقد زودتنا الثورة في ميدان الجينات بطرق جديدة لفهم انفسنا، وهو ما لم يتهيّأ لأسلافنا ولم يتصوّروه. لو حاولنا أن نشرح لشخص عاش قبل 20 ألف عامًا مضت، أنّ الإنسان مكوّن من مجموعة رموز وشفرات، لكان ذلك أبعد ممّا منحته تجربة الحياة، لكي يستوعب مثل هذا القول. ولكن رغم إيماننا الكبير القائم على أسس جيدة من العلوم، يتوجّب علينا أن نحافظ على تقدير متواضع للعالم من حولنا، وللأشياء التي تفوق إدراكنا. حتى الأمراض الناجمة عن الطفرات في حين واحد، وهي أوضح وأبسط الأهداف لهندسة الجينات البشرية، يجب أن تشجّع على تواضعنا.

يمثل الربط الموثوق لطفرة جين واحد مع مرض وراثي واحد، حقبا من التقدم الثابت. لكنّ المسألة أكثر تعقيدًا ممّا تبدو عليه. نظرًا لأنّ العديد من الجينات مرتبط بأمراض وراثية معينة وُجدت بين البشر من خلال بروز أعراضها لديهم، لا تتوفر المعرفة للباحثين عن بشر آخرين ممّن يحملون نفس الطفرات الجينية، لكنّهم غير مصابين بتلك الأمراض، لسبب أو لآخر. ربّما بسبب امتلاكهم لجين أو عدد من الجينات تحميهم من ذلك المرض. وهذا هو السبب الذي يدعونا للتفكير أنّ من المحتمل وجود أناس آخرين، من بين كافة الناس، وليس فقط من تظهر عليهم أعراض مرض معيّن، يتطلب الأمر أن نضع تسلسلًا جينيًّا لهم. وكلما زدنا من هذا كلما ازداد إدراكنا لتعقد العملية، حتى فيما يبدو لنا جينات بسيطة. سنتعلم أنّنا جميعا وبطريقة أو بأخرى مسوخ وراثية genetic mutants ونحمل طفرات قد تسبب أمراضًا للبعض دون البعض الآخر.

إنّ وجود جيناتنا معقد ومتفاعل ضمن التعقيد الأكبر لأجهزتنا البايولوجية العديدة، التي من بينها نظام العدسات الوراثية epigenome ونظام طبق الأصل transcriptome والپروتوم

proteome وميتابولوم metabolome والميكروبيوم microbiome والفايروم virome، وغيرها. التركيب البايولوجي للفرد موجود ضمن سياق أوسع للبيئة، التي يعيش فيها[46].

وهذا ما دعا العلماء عقب النشوة، التي استمرت لحقبة أو حقبتين، أن يكونوا أكثر حذرا في معرفة الإطار الزمني لفهم جيناتنا وتفاعل الأنظمة داخلنا ومن حولنا. لقد حققنا إنجازات كبيرة بكلفة رخيصة وخلال فترة سريعة وبصورة دقيقة لوضع تسلسل الجينوم Genome Sequence. غير أنّ قدرتنا على جمع المعلومات لم يتوفر ما يقابلها لفهم هذه المعلومات، التي تجمّعت لدينا. «لقد ارتكبنا خطأ حين ساوينا بين جمع المعلومات مع الزيادة المقابلة في استيعابها وفهمها»[47]، حسب ما ذكر *جَيمس كولِنز*، أستاذ الهندسة الحيوية في جامعة بوسطن.

وكما حدث دائمًا، وازنت أجناسنا في التواضع المبرّر بين التكنولوجيا وبين موروثنا من الغطرسة، لأسباب جيّدة. إنّ كلّ نظام حيوي معقد داخل أجسامنا، سيكون بالمقدور فكّ رموزه وشفراته بشكل متزايد، وفي طليعة هذه جيناتنا.

نظرا لأنّ معالجة الجينوم البشري في خطوة واحدة مهمة صعبة للغاية، فإنّ المهتمين بقضايا الجينات يشقوّن طريقهم في تسلق سلم التعقيد، عن طريق فهم الأنظمة البايولوجية للكائنات الحية البسيطة، التي تنمو وتتكاثر بسرعة مثل الخميرة وذباب الفاكهة والديدان والضفادع والفئران والأسماك الملونة مثل الحمير الوحشية. وكلها جميعا لها نفس عدد الجينات، التي نمتلكها وانظمتها مشابهة لأنظمة أجسامنا. نظرا لأنّ كافة الأشياء الحية تحمل صفات أجدادها، فإنّ الجينات في هذه المخلوقات تشابه، أكثر أو أقل، ما لدى الإنسان اعتمادًا على الفترة الزمنية، التي انسلخنا فيها عنها. فمثلا البشر وذباب الفاكهة يعودان لنفس الأصل منذ حوالى 700 مليون سنة مضت. انسلخنا عن الفئران، وهي الأقرب إلينا، منذ 80 مليون سنة فقط. وهذا هو السبب الذي يجمعنا معا في حبّ أكل الجبنة (أنا فقط امزح). وبناء عليه فإنّنا نشترك مع ذباب الفاكهة بنسبة 60% من الحمض النووي، وبنسبة 92% من الحمض النووي لدى الفئران.

ولسوء حظّ أقاربنا هؤلاء فإنّ بحوث دراسة جيناتنا أخذت الجزء الأكبر من العيّنات من بينهم واستعملتهم في التجارب المختبرية. لقد تعرّض البعض منهم لجرعات عالية من الإشعاعات بقصد تحوير جيناتها ومعرفة مختلف التغيرات الجينية التي تؤدي إلى نتائج جسمانية/بدنية مختلفة. يوجد في هذه الأيام مدى واسع من الأدوات الجينية، التي تضرب الجينات وتحولها إلى كائنات

نموذجية. وفي مختلف المختبرات حول العالم، تجري هندسة جينات الفئران وغيرها من الحيوانات للمساعدة في دراسة الأمراض والصفات الوراثية[48].

وتدريجيا ولكن بصورة منسّقة، تقودنا هذه التجارب لمعرفة مدى تعقد أجهزتنا الحيوية وكيف تعمل.

منذ سنوات والباحثون مثل *أرِك دَيفِدسُن*، عالم الأحياء في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا CIT، يعملون ليظهروا كيف بالمستطاع معرفة النظام الحيوي لدى الكائن النموذجي. قام *دَيفِدسُن* وفريقه بتغيير منتظم لعدد من البروتينات في جسم قنفذ البحر sea urchin وراقبوا كيف أنّ كلّ تغيير، يحوّر البروتينات والجينات. استطاعوا بفضل تلك المعلومات من رسم خارطة عن عدد البروتينات والجينات المختلفة، التي تتفاعل. وهو جهد للتوصّل إلى المبادئ الأساسية للنظام الحيوي الكامل عند قنافذ البحر. ما زال الأمر يتطلب المزيد من الجهود، لكنّ دَيفِدسُن يصف عمله بأنّه، «برهان للمبادئ التي تمكّن الفرد أن يفهم كلّ شيء عن النظام، الذي يبغي معرفته لو أمسك بأجزائه المتحركة»[49].

جعلت الأدوات الجينية ممكنا للباحثين أن يشغّلوا أو يوقفوا جينات متعددة. ولكن في الحقيقة، جعلهم يفهمون كيف تساهم الجينات في الصفات الوراثية البشرية المعقدة، التي تتطلب عملية كبيرة من أجل أن تندمج وتتفاعل. إنّ دراسات ارتباط الجينوم بشكل واسع GWAS بدأت تفعل ذلك بالضبط.

رغم أنّ البشر متشابهين وراثيًّا في جوانب عديدة، فإنّ عدد الجينات المختلفة القليل، هو وراء التنوّع البشري والأمراض، مّما جعلها بالغة الأهمية. وخلافا لما كان يُنظر إليه في الأيام الماضية، بأنّ الطفرات الوراثية في الجين الواحد بين مجموعة من الناس، الذين ينتشر بينهم مرض معين، فإنّ عملية دراسة ارتباط الجينوم بشكل واسع، ترصد مئات وألوف وحتى ملايين الاختلافات الوراثية لإيجاد الفروق والأنماط في النتائج المختلفة للوصول إلى ما يتطابق منها مع بعضها البعض.

وإذا تمّ وضع التسلسل الجيني G,A,T,C فإنّه يتحول إلى ملف رقمي digital file. تتطلب عملية GWAS استخدام برامج كومبيوتر تعتمد على اللوغارتيمات لمسح الجينوم لدى مجموعة

كبيرة من البشر، بحثا عن الاختلافات الوراثية المرتبطة بعدد من الأمراض والصفات التي تحملها جينات معينة. تستطيع كلّ عملية GWAS أن تنظر لرصد آلاف الاختلافات التي يسميها العلماء اشكال النوكليوتيدات المنفردة SNPs. وكلمّا تمّ التوصل لمعرفة مزيد من الطفرات، كلما ازدادت دراسات المستقبل دقة.

ولكي نفهم كيف أنّ عملية GWAS وغيرها من العمليات تضفي منطقية للكمّ الهائل من المعلومات الوراثية، علينا أن نشبه ذلك بالغابة. لو تصوّرنا أنّ عددا من الناس يمشون عبر متاهة من الأشجار والنباتات والأغصان لعدة سنوات، ممّا جعلهم قادرين على أن يحددوا آلاف الأماكن الهامة في تلك الغابة، لأنّه تحدث فيها أمور هامة. مثال على ذلك شلالات الماء والمناطق التي تتربّص بها بعض الحيوانات لتمسك حيوانات أخرى وتفترسها، وبعض الأشجار الكبيرة، الخ. إنّهم يعرفون تلك المناطق اعتمادًا على تجربتهم حتى وهم يعبرون غابات أخرى عديدة. إحدى الطرق التي توفر لهم فهم تلك الغابة هي زيارة تلك الأماكن الهامة ليروا ماذا يجري فيها. توفر لنا عملية GWAS نفس الفرصة لنجوب داخل المدى الواسع للجينوم لتأشير العلامات الوراثية الظاهرة، فقط حين تكون ذات علاقة بما نبحث عنه أو بما نعمله.

ظهرت ما بعد عملية GWAS أدوات جديدة لرسم تسلسل الجيل الجديد NGS. تمكّنُ هذه الأدوات الباحثين كي يضعوا تسلسلا لكافة شفرات البروتينات في الجينات ومن ثمّ تحديد كافة الجينات الموجودة في الجينوم المعيّن. إنّ فحص شفرة البروتينات يشبه إيجاد ممرّ للمشي يربط بين كافة المعالم المهمة في غابتك، ويسمح لك فهم كيف أنّ العلامات البارزة على هذا الممشى ستقودك إلى الجهات التي تريد الوصول إليها وتربط فيما بينها. إنّ وضع تسلسل الجينوم يشبه النظر إلى الغابة بكاملها، وهي مهمة كبيرة ومعقدة، لكنّها في النهاية ستساعدنا في معرفة الغابة، أكثر من النظر فقط إلى الأماكن المهمة فيها.

التركيز على هذا الكم الهائل من المعلومات عن الغابة بكاملها، أي الجينوم بكامله، يصبح مهمة أكثر مشقة حين نبدأ بعملية تحليل المعلومات. من الأسهل أن نتلمّس طريقنا نحو عدد من الشلالات والأشجار الكبيرة، أي نستهدف عددًا قليلًا من الجينات، بدلًا من محاولة فهم النظام البيئي الواسع والأكثر تعقيدًا للغابة أو الجينوم بكامله. لكنّنا لو استطعنا فهم الأنظمة البيئية الواسعة، سنعرف المزيد عن الغابة. وفي حالة الجينوم البشري، سنعرف المزيد عن انفسنا.

وكلما ابتعدنا عن النظر إلى كيف أنّ الطفرة الجينية الواحدة تسبب مرضا معينا أو صفة جديدة، سيتبين لنا كيف أنّ نماذج الجينات المعقدة وغيرها من النظم تخلق نتائج معينة، وتكون أقل إمكانية في إحداث الخسائر باستعمال قدراتنا العقلية المحددة وحدها. وهذا هو السبب الذي أحدث التقاطع بين علم الوراثة والتقدم في ميدان التكنولوجيا الحيوية من جانب، والذكاء الاصطناعي AI والثورة في تحليل المعلومات الهائلة من جانب آخر.

* * *

يعتبر الكثيرون حول العالم اللعبة الصينية القديمة Go، بأنّها اعقد لعبة، وكان لها دور كبير في الثقافة الصينية والتفكير الستراتيجي داخل تلك الثقافة. ابتكرها الصينيون قبل 2500 عامًا، وتحتوي لوحتها على 360 خانة مربعة، يضع المتنافسان عليها حصى باللونين الأبيض والأسود. يحاول أحد اللاعِبَين محاصرة حصى اللاعب الآخر ورفعها من اللوحة. يكون الفائز هو من يتحكم بقدر أكبر من السيطرة على تلك اللوحة. ولكي نوضّح قواعد هذه اللعبة ونقارنها بلعبة الشطرنج، فإنّ معدل الخيارات لتحريك أدوات لعبة الشطرنج يبلغ 400 خيارا. أمّا معدل الخيارات في اللعبة الصينية فيصل إلى 130000 خيارًا.

بعد أن تمكّن كومبيوتر آي بي أم المسمى Deep Blue من هزيمة البطل العالمي للعبة الشطرنج گري كاسپَروف عام 1996، اعتقد غالبية المراقبين أنّ الأمر سيتطلب حقبا عديدة ليتمكن الكومبيوتر من هزيمة البطل العالمي في اللعبة الصينية Go، لأنّ التعقيد الرياضي لهذه اللعبة سيجعل خطط الكومبيوتر ديپ بلو عديمة الجدوى. ولكن حين طورت شركة گوگِل برنامجها المسمّى DeepMind AlphaGo باستعمال أدوات متقدمة لها قدرة على التعلم، دحر هذا البرنامج بطلي كوريا والصين معا في لعبة Go ضمن سلسلة من المنافسات الشديدة عامي 2016 و2017، فأخذ العالم علما بذلك.

لقد تعلم برنامج AlphaGo كيف يلعب اللعبة الصينية عن طريق تحليل مئات الآلاف من مباريات لعبة Go المسجلة رقميّا. وفي عام 2017 قدّمت گوگِل نسخة جديدة من برنامجها وسمّته AlphaGo Zero، الذي لا يحتاج أن يتعلم أسس الألعاب البشرية. وبدلا من ذلك هيّأ المبرمجون اللوغارتيم المتعلق بالقواعد الأساسية للعبة الصينية وأعطوا التعليمات للبرنامج أن يلعب ضدّ نفسه

ليتعلم أفضل الستراتيجيات. وبعد 3 أيام فقط تمكن برنامج AlphaGo Zero من هزيمة البرنامج الأصلي AlphaGo ليكون سيّد اللاعبين في الساحة.

باستطاعة برنامج AlphaGo Zero أن يهزم أيّ إنسان في اللعبة الصينية القديمة، لأنّه يتعرف على عدة طبقات من نماذج المعلومات لدى الخصم أبعد بكثير ممّا يستطيعه أيّ شخص، ويتحرك وفق ذلك. أرعب التقدم الحاصل في ميدان الذكاء الاصطناعي العديد من الناس. كان رائد التكنولوجيا والمتحمّس جدّا لها *إيلون مأُسك* والراحل *ستيفِن هَوكِنگ* من بين هؤلاء الذين عبّروا عن مخاوفهم من أنّ الذكاء الاصطناعي سيتجاوز القدرات العقلية لدى البشر ولربّما سيسبّب لهم الأذى[50]. إنّ هذا المستوى والنوع من المخاوف، التي تُعتبر نظرية في هذا الوقت الحافل بالكشف عن الأسرار في بايولوجية البشر، ليس فيها خطورة علينا. ويبدو واضحا في هذه الأيام أنّ تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي لا تحلّ محلّ تفكيرنا، بل تعزّزه.

جرى إعداد الآلاف من الكتب حول المعلومات والثورة في ميادين استخدام الكومپيوتر وتغيّر الطرق التي نخزن فيها المعلومات وكيف نستخدمها. في حقبة 1880 كانت الاختراعات الرئيسية في معالجة المعلومات المتجمعة الكبيرة هي باستعمال البطاقات المثقبة. ثمّ ظهر الشريط الممغنط لخزن المعلومات في عشرينات القرن الماضي، والذي مكّن الآلات التي طوّرها الحلفاء اختراق الشفرتين النازية واليابانية لمعرفة أسرار تلكما الدولتين خلال الحرب العالمية الثانية. وتبع ذلك بسرعة وضع الأسس الحديثة لاستخدام الكومپيوتر على يد الأمريكي المجري الأصل *جون فون نِومَن*، والتي ارتكز فيها على تطوير أجهزة الكومپيوتر بأحجامها المختلفة، ومن ثم قاد إلى ثورة الإنترنَت. تسمح لنا المعلومات الكبيرة المتصلة والثورات في عالم الذكاء الاصطناعي، من فهم زيادة التراكمنات المتنامية للمعلومات عمّا في داخلنا وما حولنا.

ليس من قبيل الصدفة أنّ تحليل البيانات الكبيرة يبدأ بكلمة كبيرة. لقد تمّ خلال السنتين الماضيتين توفر معلومات أكثر ممّا كانت عليه الحال في تاريخ البشرية. وهذا هو ما سمح لنا أن ننجز أشياء أكبر وعجّل في عملية صنعها[51]. إنّ ثورة تحليل المعلومات توسّع قدراتنا على حلّ المشكلات المتعلقة بنا نحن كبشر.

حين اخترع *تومّس أديسُن* الفونوگراف والمصباح الكهربائي وشبكة الكهرباء والكامِرا التي تسجّل الحركة وغيرها من الاختراعات الأخرى، كان يسكن في منطقة فلو پارك في ولاية نو

جرزي. واجهته تحدّيات لم يكن قادرا على فهمها. كان باستطاعته أن يتحدث مع قليل من الناس من أصدقائه ربّما بالمئات، وربّما قرأ عددا محدودا من الكتب والمقالات. أمّا اليوم فإنّ العديد من أبناء جنسنا يتواصلون عن طريق الإنترنت، وباستطاعتنا أن نتجاوز العديد من المشاكل، التي تمّ التوصل إلى حلولها، وأنّ نركّز على التحديات الجديدة في حياتنا، التي نستطيع نحن وحدنا أن نجد الحلول الناجعة لها.

حين توفى حاد الذكاء *أديسُن* وغيره من الأشخاص، فإنّ المواهب التي تمتعوا بها دُفنت معهم. أمّا اليوم، فإنّ معظم معلوماتنا ومعرفتنا محفوظة في سجلات رقمية يمكن الاطّلاع عليها بسهولة، وإنّ التعامل مع البيانات وأدوات جمع المعرفة التي اخترعناها ستضمن لها البقاء الأبدي. من الطبيعي، يظل الموت مسألة شخصية وعائلية. ولكن لم يعد له تأثير على تقدّم معرفتنا الجمعية، وأنواع الحياة من حولنا بشكل عام أفضل ممّا كان عليه الوضع في السابق. إنّنا من الناحية العملية مندمجين مع أدواتنا، التي تتحسّن بسرعة وأنّنا من عدة أوجه أفضل حالا بسبب استخدامنا لها.

تساعدنا المعلومات الكبيرة والثورات في عالم الآلات الذكية، أن نفهم كافة أنواع الأنظمة اعتبارًا من العربات ذاتية القيادة والسفر في الفضاء. لكنّ أكثرها أهمية وله تأثيرات بالغة، هو معرفتنا وقدرتنا على التلاعب في البايولوجيا. وفيما يتعلق باللعبة الصينية القديمة Go، فقد علمتنا أنّ نماذج علم الأحياء البشري معقدة للغاية. إنّ لوغارثيم دِيپ مايند لبرنامج **الفا زيرو** هو نسخة من برنامج **ألفاگو زيرو**، ليس فقط بطلا في لعبة گو الصينية، لكنّه تفوّق على الإنسان بطل اللعبة المذكورة وعلى اللوغارتيمات المتواضعة للعبة الشطرنج، وكذلك على ستراتيجية اللعبة اليابانية المعقدة **شَوگي** Shogi. تمّ خزن قواعد هاتين اللعبتين في برنامج **الفا زيرو** فوجد أنّها قواعد بسيطة ومستقيمة. قد تظهر «القواعد» في تركيبنا البايولوجي أمامنا في يوم ما واضحة وبسيطة ومستقيمة بدون تعقيد. لكنّنا نحن البشر اليوم، وحتى من خلال استخدام الذكاء الاصطناعي ما زلنا نصارع في فهمنا وإدراكنا لهذه القواعد.

وبغية الوصول إلى ذلك، يواصل علماء التطور استخدام أدوات تحليل البيانات الكبيرة وأدوات التعلم العميق Deep Learning، لكي يصنّفوا بمنطقية أكثر فهم الجينوم البشري. فبرامج التعلم العميق تستخدم، ليس فقط لتشخيص الصور الشعاعية الطبية لمنطقة الصدر وغيرها من أشكال السرطان، بشكل أكثر دقة من قراءة المتخصصين بالأشعة. كما أنّها تستخدم أيضًا في تركيب

المعلومات الوراثية لدى المرضى ومقارنتها بالسجلات الطبية الإلكترونية كي تبدأ عملية تشخيص الأمراض وربّما التنبؤ بحدوثها.

تتسابق الشركات حول العالم لتسريع هذه العملية. فمثلا شركة ديپ جينومِكس المبتكرة الكندية جمعت بين مسألتي الذكاء الاصطناعي وعلم الجينوم معا بقصد كشف كيفية عمل الأمراض، كما ورد في بيانها. «إنّ مستقبل الطب يعتمد على الذكاء الاصطناعي لأنّ علم الأحياء معقد للغاية بالنسبة للإنسان لكي يستوعبه»[52]. وطرحت شركة گو گِل أخيرًا وشركة صينية اسمها Wuxi NextCODE برنامجين متطورين للذكاء الاصطناعي وخزنتاهما في الفضاء الخارجي الإلكتروني cloud-based. البرنامجان مصمّمان لإدراك كمّ المعلومات الهائلة الذي يوفره التسلسل الجيني. كما تعمل شركة بايوجين Biogen ومقرّها في بوسطن بشكل فعّال حول كيفية تفوّق الإحصاءات الكمّية Quantum Computing على القدرات البشرية لإيجاد نماذج ذات معنى من مجموع البيانات الضخمة. سيصبح تقاطع الذكاء الاصطناعي مع علم الجينوم أكثر قوة بازدياد تعقد تقنيات التعلم العميق وزيادة حجم البيانات وكبرها وتوفرها عن التسلسل الجينومي ونمو قدراتنا على فكّ رموز المبادئ الأساسية لأنظمتنا البايولوجية.

كلما توسعت رقعة البيانات الجينومية مساحة، سيزيد العلماء من استخدام آلات الذكاء الاصطناعي كي يفهموا أكثر كيف أنّ النماذج الجينية المعقدة تقود إلى نتائج محدّدة. تتأتى المنفعة الحقيقية ليس من وضع التسلسل الجيني لأعداد كبيرة من الناس، ولكن أيضًا من مقارنة نماذج الموروثات، أي التركيب الجيني genotypes لهؤلاء الناس، والظواهر phenotypes، أي كيف تعبّر هذه الجينات عن نفسها خلال دورة حياة الفرد. وكلما ازدادت مقارنة تسلسل الجينومات مع سجلات حياة الأفراد التفصيلية المتوفرة في قاعدة البيانات المشتركة، سيكون من الأفضل لنا أن نعرف ماهية جيناتنا وكيف تعمل أنظمتنا البايولوجية.

كتبت مجلة الإكونومِست في عام 2017 بأنّ «أهمّ مصدر قيّم في العالم، ليس النفط، بل البيانات»[53]. وفي حالة علم الجينوم، فإنّ البيانات ذات الجودة العالية لمقارنة بايولوجيا البشر، هي المعلومات المعينة المتوفرة عن العديد من جوانب حياتهم.

إنّ جمع هذه البيانات الجينية الحديثة الواسعة مع سجلات الحياة سيتطلب تحليلًا إلكترونيًا موحّدًا نسبيًا بواسطة لوغارتيمات الذكاء الاصطناعي.

في أيامنا هذه، التي تقوم على اختلاف أنظمة سجلات التنوع والصحة والحياة، تصبح المشاركة في تجميع كميات كبيرة من البيانات الجينومية، أصعب ممّا يتطلبه الأمر في عالم مثالي، حيث يكون لكلّ فرد تسلسل جينوم كامل. وحين تُسجّل كافة المعلومات الشخصية والطبية بدقة في سجل موحّد، يمكن للباحثين الاطّلاع عليه ضمن شبكة معلومات مضمونة السلامة.

وعلى أيّة حال وفي عالمنا الواقعي، فإنّ فكرة وضع معلوماتنا الشخصية الحساسة ليكون بمقدور ناس آخرين لا نعرفهم الاطّلاع عليها لأغراض البحث، يخيف الكثير منّا لأسباب معقولة. غير أنّ مختلف الباحثين والشركات والحكومات حول العالم، تستكشف طرقا أخرى للموافقة بين حاجتنا الجمعية الماسّة لنوفر مثل هذه المعلومات من جهة، ورغبتنا في الإبقاء على سريّة خصوصياتنا من جهة أخرى.

* * *

يُعتبر المجتمع الآيسلندي أكثر المجتمعات تجانسا في العالم من الناحية الوراثية. وصل الرواد الأوائل لهذه الجزيرة في القرن التاسع واستوطنوها، ولحقت بهم هجرات قليلة منذ ذلك الحين. توجد لديهم معلومات تفصيلية عن الأنساب والمواليد والوفيات والسجلات الصحية، التي تعود لقرون مضت. يمكن اعتبار هذا البلد المختبر النموذجي لإجراء البحوث الجينية. في عام 1996، أسس طبيب الأمراض العصبية *كاري ستيفانسُن* شركة سمّاها de CODE Genetics بهدف البحث الجيني عن أصول سكان البلاد لغرض فهم عدد من الأمراض المنتشرة بينهم وتطوير أدوية لعلاجها. بغية الحصول على المعلومات المطلوبة، أقنعت الشركة المذكورة برلمان آيسلندا لتخويلها الحق في الاطّلاع على السجلات وإقناع السكان، الذين اشترى العديد منهم أسهم تلك الشركة والتبرّع بالدّم لإجراء الفحوصات.

حين اشترت الشركة السويسرية العملاقة **هوفمن لا روچ** لصنع الأدوية شركة de CODE مقابل 200 مليون دولارًا، شعر الكثير من السكان أنّه تمّت خيانتهم. أقاموا الدعوى ضدّ شركتهم لقطع الطريق على الحصول على معلومات نظام الصحة في الجزيرة وسجلاته الوطنية، واشترطت حصول الموافقة الشخصية من كلّ فرد بغية اطّلاع أيّ أحد على سجل معلوماته الصحية. دفع هذا الشركتين فوافقتا على منح سكان آيسلندا أيّة أدوية يتمّ تطويرها بالمجّان، فدفع هذا العديد من السكان على الموافقة. تمتلك شركة de CODE اليوم على ما يقرب من 100000 عينة دم وتمّ استخدامها من أجل المعلومات الجينية، وتمّ تشخيص الجينات المرتبطة بمختلف الأمراض واخترعت طرق

جديدة لمعالجة الأزمات القلبية[54]. كما أعلنت شركة عملاقة أخرى لصنع الأدوية اسمها Astra Zeneca في مطلع عام 2018، أنّها تخطط لوضع التسلسل الجينومي لنصف مليون شخصا ممّن راجعوا ويراجعون العيادات الطبية لغاية عام 2026[55]. تساهم الحكومات المتعاقبة في الجزيرة في تلك الجهود لجمع كميات كبيرة من البيانات الجينية.

أمّا في بريطانيا فقد قام **مشروع تسلسل الجينوم** لوضع ذلك التسلسل لما يقرب من 100000 مواطنا بتشجيع متحمّس من رئيس الوزراء *دَيفِد كامرُن* عام 2012. غطى المشروع حالات المرضى المسجلين في الخدمات الصحية الوطنية NHS ممّن يحملون أمراضا نادرة ومرضى السرطان، وكذلك كافة أفراد أسرهم. كان الهدف هو مقارنة المعلومات الجينية مع السجلات الطبية من أجل فهم أفضل وتطوير علاجات للأمراض الجينية. استهدف مشروع 100000 جينوم إلى «بداية تطوير صناعة الجينوم genomic industry في المملكة المتحدة»[56]. وهكذا رُفِع الرهان من قبل الخدمات الطبية الخاصة بالجينات ضمن النظام الصحي الوطني في البلاد عام 2018. إنّ كافة البالغين الذين يعانون من بعض حالات السرطان المعينة والأمراض النادرة سيخضعون لإجراء تسلسل الجينوم بهدف تغطية ما يقارب من 5 ملايين مواطنًا بريطانيًا خلال السنوات الخمس القادمة.

قد يعتقد الأمريكيون أنّ غياب نظام صحي موحد في البلد يجعل إقدام الحكومة على عمل من قبيل ما طرحناه في أعلاه صعبا. غير أنّ خطة طموحة قد أطلقت في الولايات المتحدة. بعد سنوات من التأخير، بدأ **المعهد الصحي الوطني** في الولايات المتحدة باستهداف مليون أمريكيّا من مختلف الطبقات الاجتماعية والأصول العرقية والطلب منهم إجراء التسلسل الجينومي وتقديم السجل الصحي وعينات الدم وغيرها من المعلومات الشخصية إلى برنامج All of Us Research[57] Program. خصّص الكونگرس لهذا البرنامج ميزانية قدرها 1.45 بليون دولارًا على مدى 10 سنوات، فبدأت مراكز للتسجيل في هذا البرنامج في طول الولايات المتحدة وعرضها. وإذا تمّت معالجة المخاوف بصدد الخصوصية privacy والقصور البيروقراطي، فإنّ هذه المحاولة ستنقل البحوث الجينية خطوة نحو الأمام. كما قامت وزارة شؤون المحاربين القدامى بخطوة لتأسيس مركز للمعلومات الحيوية أطلقوا عليه اسم **برنامج المليون محارب** للقيام بإجراء التسلسل الجيني بحدود عام 2025 من أجل تدوين الأنماط الجينية والصحة والسجلات الخدمية لهؤلاء[58].

كما برزت في الميدان نماذج للجهود الخاصّة الإبداعية التي تحقق فيها إيجاد التوازن بين المصالح الاجتماعية وجملة المعلومات الجينية وبين اهتمام العديد من الأفراد لإبقاء سيطرتهم وتحكّمهم ببياناتهم الجينية. قامت شركة Luna DNA في مدينة سنتياگو بمشروع لجمع البيانات الصغيرة المتفاوتة عن الجينات، التي تتوفر لدى الشركات الأخرى والعيادات الطبية لتكون أساسًا للبحوث الجماعية ومكافأة الأشخاص الراغبين في كشف معلوماتهم الشخصية بمنحهم عملة مشفّرة Cryptocurrency [59]. وهذه طريقة معقولة لأنّ تسلسل جينات البشر، يشبه تاريخ استعمالهم لشبكة الإنترنت، وستكون له أهمية وقيمة تجارية تعود منافعها على من يشارك فيها من المستهلكين. فمثلا **مشروع الجينوم الشخصي** ومقره في بوسطن، يحاول أن يبني شبكة معلومات خاصة بالجينات Genetic Data Pool على مستوى البلد[60]. ولعله ليس من العجب أنّ الصين قد أقدمت على شقّ طريق لبناء شبكة معلومات من هذا الصنف وعلى نطاق صناعي. أعلنت الحكومة حديثا تخصيص 9 بلايين دولارًا في مشروع استثمار أمده 15 عامًا لتحسين القيادة الوطنية للطب الدقيق، وهو الأكبر حجما ممّا في بقية أنحاء العالم[61]. تشمل خطة الصين الوطنية للإصلاح والتطوير الثالثة عشر، والتي تغطي فترة 5 سنوات لتطوير صناعة التكنولوجيا الحيوية لغرض إجراء تسلسل جيني لنسبة 50% للأجنة المولودة حديثا، معلومات عن فترة الحمل وما قبل الولادة واختبار المواليد الجُدد بحلول عام 2020 في كافة أنحاء الصين، ومنح المساعدة لمئات من المشاريع المنفصلة لوضع تسلسل الجينوم وجمع البيانات السريرية بالتعاون مع الحكومات المحلية والشركات الخاصة[62]. كما أنّ الصين تتحرك صوب تأسيس شكل موحّد للسجلات الطبية الإلكترونية المشتركة في كافة أنحاء البلاد، مع التأكيد على حماية خصوصية المعلومات، وفي نفس الوقت إتاحة الفرصة للباحثين والشركات الخاصة والمؤسسات الحكومية من الاطّلاع على تلك البيانات. ونتيجة لكافة هذه الأنواع من الجهود حول العالم، يُقدّر أنّ حوالى 2 بليون من الجينوم البشري، سيوضع لها تسلسل خلال الحقبة التالية[63]. وبغية وضع هذا الكمّ الهائل من البيانات وربطه إلكترونيًّا بسجلات الصحة والحياة ودمجه مع مجموعة البيانات الأخرى الأكبر، التي تتعلق بالأنظمة البايولوجية، وهذا أمر يتطلب قدرة هامة في أجهزة كومبيوتر خارقة ومتوفرة في كافة أنحاء العالم، ليس لدي شكّ قليل أنّنا سنتوصل إلى ذلك في النهاية[64].

سيكون وضع تلك المعلومات الجينية والشخصية في «نظام رقمي موحّد» مهمة مستحيلة تقريبا، لو تركنا لكلّ فرد أن يقرّر وضع تسلسل لجيناته أم لا. وبدلا من ذلك، فإنّ كافة الأطفال المولدين نتيجة الإخصاب المختبري IVF وجرى مسح لجيناتهم من خلال زيارة عيادات الأطباء ومراجعة المستشفيات في أيّة فترة من حياتهم، سيخضعون لعملية التسلسل الجينومي وفق الأسس الثابتة، بنفس الطريقة التي يُفحَص فيها نبض قلوبهم ومستوى ضغط الدم لديهم. وهكذا ستنتقل

المعلومات من أجهزة أنظمتنا الطبية إلى عالم جديد عالي التشخيص، وهو الصورة، التي سيكون عليها الطبّ مستقبلا.

* * *

يقوم عالمنا الطبي الحالي على مسألة المعدّلات بشكل رئيسي. فمثلا لا تعمل الأدوية العلاجية على كافة الأفراد بنفس الطريقة والفاعلية. حتى لو عملت على نسبة معقولة من الناس، فإنّ أجهزة المراقبة والترخيص ستوافق على نزولها إلى الصيدليات واستعمالها من قبل المرضى. ولو ذهبت إلى عيادة أيّ طبيب وأنت تعاني من أعراض صحية معينة يمكن معالجتها عن طريق الأدوية، فمن المتوقع أنك ستحصل على الدواء وستتبع تعليمات استعماله ونصائح الطبيب، لكي تعرف إن كان العلاج ناجحا وفعّالا. فمثلًا لو تناولت أقراص Warfarin لتخفيف كثافة الدم ولمست مفعولها، فذلك يعني أنّها متناسبة مع نظامك البايولوجي. ولكن أذا كنت واحدًا من بين 100 شخصًا تسبَّب لهم هذا العلاج بحدوث نزيف داخلي وربّما الوفاة، فذلك درس يتعلمه الفرد بصعوبة.

كان الطبّ العمومي هو طريقنا لفعل الأشياء حين يكون فهمنا واطئا عن كيفية تجاوب كلّ إنسان مع الدواء المخصّص له. في عالم الطب الشخصي القادم تكون تلك الطريقة مثلها مثل استعمال العلق leeches. فبدلا من الذهاب لزيارة الطبيب لوحده، سترى طبيبا برفقة أجهزة مزودة بالعقل الاصطناعي. المعالجة التي ستتلقاها، اعتبارًا من الصداع حتى السرطان، ستعتمد على كيفية عمل العلاج وتأثيره على شخص مثلك فقط. إنّ بايولوجية الفرد، بما فيها الجنس والعمر وحالة المناعة ضدّ المايكرُبات ومؤشرات الهضم الغذائي والجينات، ستكون هي الأسس في سجله الطبي، وبالتالي الرعاية التي يتلقاها.

«لقد عرف الأطباء دائمًا أنّ كلّ مريض حالة فريدة»، حسب قول الرئيس *بَراك أوباما* في خطابه عن حالة الاتحاد الأمريكي عام 2015. ثمّ أضاف القول، «حاول الأطباء دائمًا أن يفصّلوا معالجاتهم إلى أفضل حدّ ممكن لتتناسب مع كلّ مريض. فمثلا، يجب أن تتطابق فصيلة الدم قبل نقله لمن يحتاج إليه، فكان ذلك اكتشافا عظيما. ماذا لو كانت معالجة السرطان متطابقة بهذا الشكل مع شفراتنا الجينية، وبتلك السهولة لتصبح إجراء أساسيًّا standard؟ ماذا لو توصلنا إلى استعمال مقدار الدواء المطلوب ليكون بمثل سهولة قياس درجة حرارة أجسامنا؟» وبعد فترة من إلقاء هذا الخطاب أعلنت إدارة *أوباما* عن مبادرة الطب الدقيق Precision Medicine Initiative، التي

صُمّمت «لفتح عصر جديد في عالم الطب من خلال التكنولوجيا والسياسات التي تصبّ في صالح المرضى والباحثين، وتؤمّن المتطلبات للعمل سوية من أجل تطوير الرعاية الفردية»[65].

يُقاس التقدّم نحو هذا الهدف بتحقيق مبادرة إثر أخرى. في عام 2018 جرى تطبيق مبادرة گِسِنجر للنظام الصحي في منطقة دانفِل في ولاية پنسِلفَينيا. أعلِن بموجبها توفير إجراء تسلسل الجينوم لكلّ مريض كجزء من نظام الرعاية الوقائية القياسية SPC. توصلت بحوث گِسِنجر الأولية إلى نتائج قابلة للتنفيذ بين ما يقرب من 35% من مجموع المرضى. بالنسبة لهؤلاء، فإنّ التوصّل إلى معرفة الأمراض الخطيرة المحتملة لديهم في المستقبل أمر مفيد وقد يكون فيه انقاذ لحياتهم. أمّا بالنسبة إلى النظام الصحي، فإنّ إجراء التسلسل الجينومي للمرضى المتوقعين، يساعد على توفير رعاية صحية أفضل لهم. وقد يقود المستشفيات للحصول على موارد مالية إضافية أعلى تؤمّن خلال فترة قصيرة، وتؤمّن على المدى البعيد توفيرا لكونها تمنع حصول حالات وظروف حرجة. وعلى مستوى المجتمع، فإنّ تشخيص الخلل الجيني في وقت مبكّر سيؤدي إلى تحسين الوضع الصحي العام ويخفّض من كلفة الرعاية الصحية[66].

بالرغم من قصور أنظمة الرعاية الصحية، فإنّ نقص الخبرة الجينية بين الأطباء الذين يقدمون العناية الصحية الأولية، والثقافة المحافظة لمهنة الطبّ عموما حول العالم، يمكن أن يؤديا إلى إبطاء عملية التحوّل بالنسبة للملايين وربّما البلايين حول العالم للإقدام على خطوة التسلسل الجينومي، كجزء من التحوّل نحو الطب الإنفرادي الشخصي[67]. سيتم خلال هذه العملية وضع البيانات عن علم وراثة الأنواع Species’ Genetics وحياة البشر وصحتهم في سجلات إلكترونية تسمح بإجراء التحليلات الموسعة حول البايولوجيا المعقدة.

وكلما تتزايد أعداد الذين يخضعون للتسلسل الجينومي، فإنّ كافة كلفة هذه العملية ستنخفض أكثر، وفي ذات الوقت تزداد أجهزة الكومبيوتر قوة لإجراء الحسابات الضرورية المعقدة خلال العمليات التحليلية. وبذا تزداد معرفتنا للنماذج الوراثية المعقدة. وأكثر من معرفة أفضل لتأثير زيادة أعداد الطفرات في الجين الواحد، سيمكّننا ذلك من فهم نماذج الجينات، التي تقود إلى الظروف الصحية الخطيرة مثل أمراض القلب الإكليلية coronary ومرض السّكري وضغط الدم.

وجدت هذه الفكرة طريقها للتطبيقات العملية. فمثلا، قام الباحثون في معهد برَود بوضع لوغارثيم وصمموا موقعًا على الإنترنت لإعطاء الناس فكرة عن درجة الخطورة في تقييم

استعدادهم الوراثي لعدد من الأمراض المعقدة، ومنها مرض الشريان التاجي وسرطان الثدي. «بالنسبة إلى عدد من الأمراض الشائعة»، حسب ما ورد في نشرة المعهد **علم الوراثة الطبيعية** لشهر أغسطس من عام 2018، «فإنّ درجة خطورة الجينات المتعددة Polygenic يمكن تشخيصها بدرجة أكبر بكثير لدى جزء كبير من السكان وعمّا وُجد من الطفرات الأحادية اللون النادرة Monogenic التي تشكّل أكبر خطر للمرض»[68]. أسس ستيفِن هَسو عام 2017 شركة سمّاها **التنبؤ الجينومي** Genomic Prediction واستعمل نماذج من برامج الكومبيوتر المتقدمة لمعرفة نسبة الخطورة عند الجنين، وفيما إذا كان توجد لديه اضطرابات وراثية، بما فيها القصور الأدراكي وبعض السمات الأخرى، قبل زرعه في رحم الأم[69]. تعتبر هذه الشركة نموذجًا مبكرًا لكي نتوسع في المستقبل باستعمال PGT. إنّ هذا الصنف من سجل تعدد الجينات يعتمد على أنّ الاحتمالات الإحصائية ستكون الجسر الموصل اليوم بين ثقتنا في التنبؤ عن كافة أشكال الخلل الوراثي في الطفرة الجينية الواحدة من جهة، وقدرتنا القادمة بأن نتنبأ بالمزيد من الخلل الوراثي المعقد الناجم عن تأثيرات صغيرة لعدة مئات أو ربّما الآلاف من الجينات من جهة أخرى.

ولكن لا توجد إمكانية بأنّ منع أو معالجة خلل وراثي ستكون نهاية رحلتنا في عالم الجينات. في الحقيقة ستكون فقط البداية. فتكنولوجيا الاقتران pairing مع وجود المعلومات التحليلية والآلات القادرة على التعلم والذكاء الاصطناعي، ستزيد بدرجة كبيرة التحوّل ليس في إنجاب الأطفال ولكن في طبيعة ما نريد إنجابه منهم.

تتطلب محاولة فكّ رموز العوامل الوراثية المعقدة للأمراض منّا، تفهّم الأجهزة الجسمية، التي تصيبها تلك الأمراض. فمثلا لو أردنا أن نفهم الوراثة وعلاقتها بضعف القدرات العقلية، نحتاج أن نفهم القدرات الوراثية للذكاء. ولغرض تقييم وراثة الجينات للشيخوخة المبكرة، نحتاج أن نفهم أولًا الآلية الوراثية للشيخوخة نفسها والمراحل، التي تمرّ بها. ولكي نفهم سبب قصر قامة الفرد، نحتاج أن نفهم بايولوجية طول القامة. وإذا اردنا أن نفهم الاضطرابات الجينية ونتسلق السلم نحو فهم أفضل لتعقيدات جيناتنا، فسيدفعنا ذلك لفهم جينات الوجود ذاتها.

إنّ بداية معرفة الأسس الجينية لأكثر صفاتنا الإنسانية تتطلب منّا أن نعترف بأنّ الثورة في عالم الوراثة هي أكثر بكثير من مسألة الرعاية الصحية. إنّها حولنا وحول ماهيتنا اليوم وفي

المستقبل. ونظرًا لأنّها سلسلة من الخطوات التدريجية، فإنّها ستغيّر مسارنا نحو التطور كواحد من الكائنات.

الفصل الثالث
فكّ شفرة الهوية

مرحبا بكِ إلى عيادة الإخصاب Fertility Clinic في عام 2035.

وقت كنتِ هنا قبل 10 سنوات أجريتِ عملية الإخصاب المختبري IVF وعملية مسح الجنين للتأكّد من أنّ طفلتك الجميلة ستولد بدون أمراض وراثية جراء طفرة في خلية واحدة. الطفلة الآن في سنّ 10 سنوات وتنمو مزدهرة وتعطيك إيمانا كثيرا بدور مسح الجينات وفحصها لتحسين صحتها. وأنت تراقبينها والأطفال الآخرين وهم يخرجون راكضين من بوابة المدرسة كلّ يوم، شعرتِ أيضًا بالأسى نحو الأطفال الذين وُلدوا وهم يحملون اضطرابات جينية كان يمكن تحاشيها لو فعلت أمهاتهم مثلما فعلتِ أنتِ حين أكملتِ عملية الإخصاب في المختبر، بدلا من الخوض بشكل أناني في عملية جنسية عشوائية خطيرة.

خلال رعايتك لابنتك خلال 10 سنوات الماضية، كرّست اهتماما خاصّا لمسلسل الاختراعات في ميدان الجينات، التي تعرّفت على هوية الأدوار العديدة التي تلعبها في الحالات المتزايدة لأنواع الخلل والصفات الوراثية الأخرى.

رجعتِ إلى نفس العيادة، التي قمتِ بزيارتها قبل حقبة وجلست في صالة الانتظار قبل الدخول إلى مكتب الطبيبة، وشعرت بأنّ أشياء كثيرة قد تغيّرت.

قلتِ وأنت تدخلين المكتب، «دكتورة، يُسعدني أن أراكِ. كانت تجربتي عظيمة مع الإخصاب المختبري IVF وعملية مسح الجنين واختباره في المرة السابقة. بودي أن أقوم بذلك للمرة الثانية. كان المكتب وكذا صالة الانتظار تجعل الفرد يشعر برحة أكثر ممّا كان الوضع عليه قبل 10

سنوات. فاللون الأبيض، الذي طُليت به الجدران المعقمة قد زينت بلوحات مرسومة باللون الأزرق الفاتح وباللون الخزامي Lavender. الكراسي مصممة بطريقة فنية حديثة والمكتب يعبق برائحة الورد الخفيفة.

وقفت الطبيبة مرحبة بكِ وعلى وجهها ابتسامة عريضة دافئة، وقالت، «هذا ما تطلبه الأخريات. هل تحبين كوبا من قهوة الكاپّچينو؟».

فاجأكِ هذا السؤال. منذ متى يقدّمون البارِستا للزبائن في عيادات الأطباء؟ يبدو أنّ عملية الإنجاب المختبري أصبحت خدمة تنافسية تقدّم للزبائن، منذ كنت هنا آخر مرة. «هل يمكن أن يكون بدون كافين decaf؟».

«طبعا، هذا أمر في غاية السهولة»، قالت الطبيبة ذلك ثمّ استدارت نحو صوب جهاز عمل القهوة وأملت الطلب. «كنت في طليعة النسوة اللواتي اقدمن على ذلك قبل 10 سنوات، وطلبتِ منّا أن نخصّب 10 من بويضاتك».

«نِمت خلال هذه السنوات بسلام لأنّني أعرف أنّ 9 من أجنتي ما زالت مجمّدة لديكم. من الصعب أن أتصوّر أنّني أقدمت على مثل هذه الخطوة. ما كنت متأكّدة أنّني أريد طفلًا آخر، ولكن خلال السنوات الأخيرة بدأت أشعر أنّني أحب أن يكون لدي طفل آخر».

«سنعمل ما في وسعنا لنحوّل تلك المشاعر إلى واقع ملائكي. هل تحبين قهوتك بالسكّر؟».

«ملعقة صغيرة واحدة فقط، من فضلكِ».

قالت الطبيبة وهي تحمل في يدها كوبا من السِيرامِك، «هذا ما أوصي به. دعينا نذيب 6 أجنة من أصل 9 من أجنتكِ، ونستخرج 5 خلايا من كلّ واحد منها لإجراء اختبار PGT، كما فعلنا في المرة السابقة».

تابعتِ بالقول، «حسنًا!» لاحظتِ أنّ الطبيبة لم تفقد شيئًا من جدّيتها، التي تتذكرينها منذ 10 سنوات.

«ثمّ سنقوم بإجراء التسلسل الجينومي لكافة الأجنة الستة، لكي نعرف أيّ منها يحمل أيّة أمراض متوقعة، كما فعلنا في المرة السابقة».

أجبتِ بكل ثقة، «بالتأكيد»، وأنت ترتشفين قليلًا من قهوتك، التي أحسن إعدادها. لقد مررت بهذه التجربة من قبل ولديك ثقة بما تتوقعين.

استمرّت الطبيبة في حديثها قائلة وهي تميل نحوكِ، «ولكن طرأ تغيّر كبير عمّا خبرتِهِ قبل حقبة من الزمن. في تلك الأيام المبكرة كنا نقوم بمسح للكشف عن أيّ خلل في طفرة جينية واحدة، إضافة إلى عدد من الصفات البسيطة مثل جنس الجنين ولون شعره وعينيه. أمّا الآن فقد تعلمنا الكثير عن أنماط الجينات المتعددة، التي قد تقود إلى خلل/خلال لا يظهر بعضها الآن، لكنه قد يظهر في فترة متأخرة من الحياة. ونظرا لأنّ هذه الأنماط تختلف من شخص لآخر، ونظرا لأنّنا لا نعرف تماما تعقيد الجينوم بكامله، فإنّنا نستطيع أن نتعامل مع هذا النوع من التحليل باعتباره عاملا للتنبؤ. لم نعد نتعامل مع النتائج الثنائية وإيقاف وتشغيل طفرة جينية واحدة لمعرفة الأمراض والخلال، التي تحدثنا عنها قبل حقبة. سيكون بإمكاننا أن نعطي نسبة للتوقعات، كأن نقول مثلا هناك فرصة بنسبة 70% لأحد الأجنة بأنّه سيُصاب بمرض كذا قبل أن يصل الفرد إلى عمر كذا. لا يعني هذا أنّ الطفل المتوقع سيصاب بذلك المرض، ولكنّ أحدًا ما له/لها جينات من هذا الصنف لديه/لديها احتمال بأن تُصاب بذلك المرض. وبطبيعة الحال، لا يأخذ هذا بالحسبان البيئة التي سينشأ فيه ذلك الطفل والخبرات التي سيمرّ بها. هل تفهمين ما أقول؟».

قلتِ ردّا على السؤال «نعم»، بنبرة فيها شيء من الحذر. هذه أمور لم يتم سبر غورها من قبل.

«لقد استطعنا أن نطرح هذا النوع من النبؤات لأكثر الأمراض مرارة وألما، وتكون نتيجة للجينات الوراثية من قبيل الخرف/النسيان وأمراض القلب وبعض أنواع أمراض السرطان. لن يكون بالمقدور منع كافة هذه الأمراض من خلال اختبار الأجنة ومسحها، ولكن بالتأكيد يمكن تحسين احتمالات طفلكِ في المستقبل عن طريق تأخير حدوثها أو تحاشي الإصابة بها أصلًا. علقتِ قائلة، «فعلًا، لقد حدثت تغيّرات».

«أنا مسؤولة، وفق لقانون، أن أسألكِ إن كنت تبغين هذه المعلومات التنبؤية. من حقك طبعًا أن ترفضيها. وإذا أحببتِ أن تحصلي عليها، فيجب عليكِ أن توقعي على هذه الاستمارة الخاصّة بذلك.

فكّرت بالموضوع للحظة ثمّ وقعت على الاستمارة. لماذا أحببتِ أن تطلعي على تلك المعلومات؟ لقد زرعوا أحد الأجنة في رحمك من قبل. لماذا لم تختاري أن يكون طفلك القادم حاصلًا على حياة صحية؟

«كما يتطلب الأمر منّي وفق القانون أن أسألك بدقة عمّا إذا كنتِ تودين أن تعرفي أكثر عن أرجحية أنّ أجنّتك عند زرعها ونموّها ستكون فيها صفات أخرى لا تتعلق بالأمراض. الأمر متروك لكِ».

بدأتِ تشعرين أنّ عمودك الفقري بدأ يتصلب عن غير قصد منكِ، حين بدأتِ تدركين ماهية ذلك السؤال. شعرتِ أنّكِ تعرفين الجواب، لكنّكِ على أيّة حال سألتِ، «ما نوع تلك الصفات؟».

«مِن أكثرها شيوعا، هي النماذج التي تقترح فيها الجينات فرصة أكبر لعمر أطول وحياة صحية».

«يبدو أنّه شيء لا يتطلب التفكير»، قلتِ ذلك وأنتِ في حالة ارتياح. «أليس هذا ما نريده لأطفالنا بأن يعيشوا حياة صحية طويلة الأمد»، سألتِ نفسكِ هذا السؤال.

«ممتاز. يشعر بعض الناس بالتوتر حين نذهب إلى ابعد من حماية المواليد من الأمراض. الكثير من هذه الأمراض لها ارتباط بعامل العمر. وعليه، إذا أردنا أن نقاوم الأمراض، نحتاج أن نحمي المواليد من الشيخوخة المبكرة».

قلتِ لها، «بعض هؤلاء الناس الآخرين يعتقدون أنّ الأطباء يقومون بدور الرّبّ».

ابتسمت الطبيبة بحزن ظاهر لدى سماع ذلك التعليق. «بالتأكيد، يعتقد بعض الناس أنّ مساعدتنا في قضية الإنجاب تذهب بعيدا جدّا. إنّنا نعطي الأمهات خيارات لا تمنحها الطبيعة ولا العناية الإلهية، التي يثق بها. لا يريدون لنا نحن البشر أن تكون لدينا مثل هذه الخيارات. وهذا ما

يجعل من الأهمية أن يشعر الوالدان بالراحة إزاء الموضوع. أنتم تخبروننا ماذا في صالحكم، لكي نساعدكم في تحقيقه».

كان لديّ الكثير من وخز الضمير حين جئت قبل 10 سنوات، لكنّني أرى الآن أنّ عدم اختيار جنين ستكون له فرص أكبر ليعيش حياة سعيدة طويلة، إنّني اسلب وليدي من الحصول على ذلك المستقبل، لأنّها تعني إضافة سنوات أخرى من العمر لحياته، لكنّني أمنع أخذه منّي قبل أوانه»، ثمّ رفعتِ الاستمارة لتوقعي عليها ثانية.

أشارت عليكِ الطبيبة بالانتظار، وأضافت، «طول العمر واحد من الفحوص والتعديلات الجينية، وباستطاعتنا أيضا أن نتنبأ بالطول. هل تحبّين ذلك أيضًا؟».

«قرأت أنّ الأشخاص من طوال القامة يحصلون على مدخولات أعلى ويميلون إلى مزيد من الثقة بالذات، مقارنة بقصار القامة. هل هذا صحيح؟».

«أكثر الدراسات تؤيد مثل هذه الآراء».

هل أنّ إضافة أنجين لطول الوليد يعني لكِ الكثير لحدّ أنّكِ تختارين تعديلًا جينيًّا لذلك الغرض؟ وفي النهاية، فإنّ كافة هؤلاء الأجنة هم أطفالك الطبيعيون، فلماذا لا تختاري أطولهم، إذا كانت الصفات الأخرى متطابقة. «إنّ اختيار وليد أطول في المستقبل»، أوضحت لنفسِكِ هذا التبرير، «هو نفس الشيء لو اخترت الأقصر بينهم». أخذتِ نفسا عميقا وقلتِ، «ولِمَ لا؟ ما هي المشكلة؟ لقد اخترتُ عدة أمور». ثمّ رفعتِ الاستمارة، التي شعرتِ أنّها ازدادت ثقلًا.

رفعت الطبيبة يدها ثانية بلطف، «الأمر الآخر هو مسألة معدل الذكاء IQ»، قالت ذلك بصوت ناعم فيه وقار أكثر من الواضح. إنّها تعرف جيدا ما سيترتب على كلماتها.

لقد اطلعتِ على مقالات صحفية ولكن ما زال لديك بعض الشعور غير المريح أن تختاري المستوى المتوقع لذكاء وليدكِ. «كم دقة هذا الاختبار؟» سألتِ وكأنّك توقفين حركة الزمن. «هل باستطاعتنا حقا أن نعرف عن هذا الأمر؟».

«إنّها فقط احتمالات، لكنّ قدراتنا تتحسّن بمرور الزمن، لكي نطرح هذا النوع من التنبؤات. الذكاء لا يعتمد بالكامل على الصفات الوراثية. كيف تربين طفلكِ وتعلمينه، سيكون لهما دور كبير.

لكنّ الذكاء في أكثره صفة وراثية، خاصّة ونحن نتقدّم في العمر».

«ولكن هل سيكون وليدي أكثر سعادة إن كان/كانت أعلى ذكاء؟».

«لا أحد يعرف ذلك حقيقة»، ردّت الطبيبة ثمّ أضافت تقول، «معدل الذكاء لا يزال موضوعًا مثيرًا للجدل. يقول البعض إنّ الثقافة تلعب دورًا كبيرًا فيه. لكنّ المجتمع بحدّ ذاته متحيز من الناحية الثقافية. ولا أدري أين سيقودنا ذلك. لكنّه ليست هناك أفكار للربط بين معدل الذكاء ونتائج الحياة الهامة».

أخذتِ نفسًا عميقًا للمرة الثانية. هل تحبين أن تتدخلي وتختاري الطريقة، التي يعمل فيها عقل طفلكِ؟ سألتِ نفسكِ هذا السؤال. إذا لم تحسّني معدل ذكاء طفلتك، فهل ستحبّكِ أم تكرهكِ بسبب ذلك؟

«تشير الدراسات المتكررة حول العالم، أنّ ذوي الذكاء العالي يميلون للعيش حياة أطول من معدل حياة الآخرين، من ذوي نسبة الذكاء الواطئة». سألتِ بلهجة تنمّ عن الحذر البشري، «فكيف يعرفون ذلك؟».

«هنالك عدة طرق. فمثلا في فترة الثلاثينات، أجرت الحكومة في أسكتلندا اختبارات الذكاء لكافة الأطفال في سن 11 عامًا، في ذات اليوم وغطّت المنطقة بكاملها. وبعد 6 حقب بدأ الباحثون يربطون بين نسبة الذكاء اعتمادًا على ذلك الاختبار وحياة الأشخاص الذي ساهموا في أخذه. وحين أفرزوا مسألة الطبقة الاجتماعية وغيرها من العوامل الأخرى، أظهرت النتائج أنّ ذوي معدلات الذكاء العالية عمومًا عاشوا حياة أطول. وقد أيّد ذلك عدد من الدراسات الإضافية الأخرى».

«لكنّ معدل الذكاء IQ ليس شيئًا واحدًا. كيف عرفوا ذلك حقيقة؟» سألتِ مدفوعة بعدم الرغبة في تقليص هوية طفلك في المستقبل اعتمادًا على نتائج دراسات مسحيّة.

«أنتِ على صواب. معدل الذكاء مفهوم معقد، يرفضه العديد من الناس لدرجة أنّهم يقولون إنّ ارتفاع معدل الذكاء لا يجعل الفرد ذكيًّا».

سألتِ، «وإذا كان الفرد ذا معدل ذكاء عال، فهل سيجعله ذلك فنانًا ذا موهبة عالية وصديقًا مخلصًا وأمًّا وأبًا أكثر محبة وحنانًا؟».

«هذه جميعًا أسئلة معقولة والجواب عليها لا. ليست هناك دلائل تشير إلى ذلك. ولكن هناك بعض البحوث الإحصائية، التي تشير إلى وجود علاقة قوية بين معدل الذكاء العالي والنجاح في الدراسة وأثناء المهنة والقدرة على جمع الثروة والمؤانسة sociability.

بدأتِ تشعرين باللين بالرغم منكِ. أنتِ تعرفين أنّ معدل الذكاء لا يقيس كلّ شيء وأنّ الإنسان أكثر من مجرّد هذا الرقم البسيط. السؤال هو، هل أنتِ مستعدة لرفض مفهوم معدل الذكاء وتتركين مستقبل طفلك يعاني من النتائج، لو كنتِ على خطأ؟ سيكون ذلك نوعا من الإقدام على مخاطرة. إذا لم تختاري الجنين، الذي يحمل IQ عال، فليس من المؤكد تماما أنّ الجنين الذي تختارينه يتمتع باستعداد وراثي أكبر ليكون فنانًا جيدًا أو شخصًا كثير التعاطف. كلّ الذي تعرفينه أنّ هذه الصفات، كغيرها من الصفات الأخرى، مرتبطة بشكل إيجابي أيضا مع معدل الذكاء.

غير أنّ وخزًا في داخلِكِ يخبرك بوجود شيء خطأ، ليس في اختيار جنين يحمل معدلًا عاليًا من الذكاء أكثر من الآخرين، ولكن حول عدم اختيار جنينك، الذي يتمتع بمعدل ذكاء عال. ليس هذا هو السؤال الصعب، الذي واجهتِهِ في حياتكِ، غير أنّكِ واجهتِ لحظة الصدق العصيبة. أمسكتِ باستمارة الموافقة بين أصابعكِ ونظرتِ إلى الأعلى.

أضافت الطبيبة «هناك المزيد». قالت ذلك بعد أن غطّت وجهها نظرة جادّة للغاية. «أحتاج أن أخبركِ أيضًا عن بعض البحوث الحديثة عن أنماط الشخصية».

أعدتِ كلامها وقد تجمّعت في حلقكِ غصّة، «أنماط الشخصية؟» ماذا تبقى من أسرار حياة الفرد ولم يُكتشَف بعد؟

«أعتقد أنّكِ تعرفين أنّ هناك أشخاص في حياتك أكثر انطلاقا من غيرهم».

قلتِ ردّا على ذلك وأنتِ تفكّرين بأختكِ، «نعم، نعم».

«وأنّ بعض الناس أكثر تفتحا أو أكثر عصبيّة؟».

«نعم أعرف ذلك». زوجها والآن جروها الصغير البالغ من العمر 6 شهور، والذي زاد وزنه أكثر من اللزوم وأصبح كثير الحركة، لا يستقرّ في مكان.

«حتى أنّ بعض الناس ساديين وقساة».

انتقل ذهنك فجأة إلى جارك الغاضب الذي شاهدتِه بالأمس وهو يركل رشاش الماء العاطل في حديقة منزله.

استمرّت الطبيبة تشرح كيف أنّ «لأنماط الشخصية أسس وأنّ أكبرها هو عامل الوراثة».

قلتِ وكأنّكِ شعرتِ بوخزة في إنسانيتك، «لحظة من فضلكّ، هل تقولين لي إنّني أستطيع أن أنتقي من أجنّتي الصغيرة المجمدة في ثلاجتك من ستكون **الأم تِريزا** أو من سيكون **جفري دامَر؟**» (دامَر مجرم من مدينة ملواكي قتل واغتصب 17 ولدًا ورجلًا بين الأعوام 1978-1991 - المترجم).

ظهر أنّ الطبيبة لم تقرّر إن كنتِ تمزحين، لكنّها استمرت بحذر. جاءت وجلست على الكرسي المجاور لكرسيّكِ وقالت بصوت ناعم، «ما كنت أريد قوله أنّنا ما زلنا في بداية تفهّمنا لأنماط الجينات، التي خلف أنماط الشخصيات المختلفة. والناس الذين يريدون هذه المعلومات حين يختارون أجنتهم للزرع في الأرحام، فهذا من حقهم وفق القانون ما داموا يوقعون على الاستمارة».

سألتِ وكنتِ ما زلت متشبّثة في العالم السحري المجهول للبشرية، «شخصية الفرد متأتية من مصادر عديدة. كيف يمكن أن تختزل كلّ هذه في الوراثة؟».

ردّت الطبيبة، «لا نستطيع الإجابة عن ذلك». توقفت لحظة لتعطيكِ الفرصة في الاستيعاب، قبل أن تستمرّ لتقول، «باستطاعتنا أن نوفّر الاحتمالات الإحصائية. فإذا اخترتِ ذلك فسيكون بإمكانك اختيار واحد من أجنتك الستة، الذي تتوفر فيه اعلى الاحتمالات المتعلقة بنمط الشخصية المفضلة لديكِ».

علّقتِ قائلة، «يبدو أنّ في الأمر شيئًا كأنّي اطلب طفلا كما أطلب كوب قهوة من ستاربَك، حليبًا خاليًا من الدسم وجرعة إضافية من الإكسپرسو وثلاث دفعات من الموكا!».

«لست هنا بصدد إقناعكِ لتقبّل طريقة أو أخرى»، قالت الطبيبة ذلك وهي تميل إلى الخلف. «أنا فقط أوضّح لكِ الاختيارات والأمر حقيقة راجع لكِ».

استعدتِ في ذهنكِ شريط الذكريات عن طفولتكِ وكيف فوجئ والداكِ بقدرتك في الرياضيات مقارنة بضعفهما فيها. تذكّرت كيف تغلبت على حياءكِ وشاركتِ في مسابقة للغناء في مدرستك. تذكرت كافة الأسرار غير المعروفة في مسار حياتك. هل ستكوني شعرتِ بنفس الشيء لو اختار والداك كلّ ذلك من قائمة الخيارات؟ هل كانا سيكونان بنفس تلك السعادة حين غنّيتِ في المسابقة، أم أنّ الأمر ما كان سيفاجئهما، لأنّهما اشرفا على تعديل جيناتك، لتكوني بتلك الثقة بالنفس وذلك الانبساط والانشراح؟

لكنّكِ عدتِ لتقولي إنّ تلك الأجنّة هم أطفالكِ وأنّ أحدهم قد وُلد في عالم كان فيه الوالدون الآخرون يتخذون مثل تلك القرارات. لو كنت سأستثمر في الحقب التالية من حياتي لمساعدة وليدي وهو يزدهِر في كلّ شيء، لماذا لا اختار الجنين، الذي لديه كافة السمات المرغوبة؟ شعرتِ أنّ يدكِ ترتجف وهي تطبِق على تلك الاستمارة.

أوقّع أم لا أوقّع، ذلك هو السؤال.

* * *

كلما ازدادت معرفتنا عن كيفية عمل الجينات، كلما ازدادت قدرتنا لاختيار صفات أكثر ومزايا جينية معقدة لأطفالنا في المستقبل.

في الوقت الذي يجب علينا فيه أن نتواضع بالاعتراف بمحدودية معرفتنا، لكنّنا أيضًا كائنات تميل دائمًا لدفع الأمور نحو الحافة. وكما طوّر أسلافنا قدراتهم العقلية، التي جعلتهم يتعاونون كجماعة في الصيد وابتكروا لغة للتفاهم بينهم وأساليب فنية وتركيبات مجتمعية معقدة، بدأنا نحن نطوّر الآلات لنغيّر البيئة من حولنا. وحين بدأنا الزراعة ومن ثمّ بناء المدن، ودخلنا ميدان الطب، اشرنا للطبيعة باصبعنا بأنّنا وجدناها مثلما هي وجدتنا.

ولكن حتى في تلك اللحظات، فإنّ أنواع الخيارات المفترضة، التي اشرنا إليها في عيادة الإخصاب، تتطلب منّا أن نحسب مقدار ما نتوقع من علم الأحياء الفطري innate ومقدار ما توفره لنا البيئة من حولنا. لو كان المرض أو السمة/الصفة لهما أصول وراثية قليلة، فإنّ اختيارها خلال عمليتي الإخصاب المختبري والمسح الجينومي الكامل سيكون لها أثر قليل. بالنسبة للمرض الوراثي الناجم عن طفرة جينية واحدة مثل مرض هنتِكْتُن أو السمات الوراثية للون العينين، فإنّ الجينات

تكون هي المسيطرة تمامًا. ولكن من جهة أخرى، فإنّ سرطان الرئة الناجم عن التدخين مدى الحياة، ليس كذلك.

يتطلب تحديد الأمراض الوراثية لدينا واختيار السمات الجينية منّا أن نحسب المدى المقرر لنا ولاختلالاتنا أو سماتنا حسب جيناتنا. إنّ عملية تقدير أين ينتهي دور البايولوجي وأين يبدأ دور البيئة، هو طريقة أخرى لمعالجة موضوع النقاش القديم بين دور الطبيعة والرعاية.

لقد ناقش أسلافنا الأولون هذا الموضوع منذ آلاف السنين. اعتقد *إفلاطون* أنّ الفرد يولد ولديه معرفة فطرية. وهو موضوع اختلف فيه معه تلميذه النابه *أرسطو*، الذي قال إنّ المعرفة أمر مُكتسَب. وكتب كُنفُشيوس الصين في القرن السادس قبل الميلاد، «لست الشخص الذي وُلِد وهو يمتلك المعرفة»، قال ذلك وهو يصوّت إلى جانب *أرسطو*. في القرن السابع الميلادي، عبّر ديكارت عن اعتقاده الإفلاطوني أنّ الفرد يولد ولديه بعض الأفكار الفطرية المعينة، وهي التي تكون الأساس في سلوكنا العام وموقفنا من العالم. ومن جانب آخر، اعتقد هوبز *ولوك* أنّ الخبرة، التي يعيشها الفرد هي ما يقرّر صفاته الشخصية. يتفق الجميع اليوم أنّ الطبيعة والرعاية «لهما» نفس الأثر لأنّ كليهما نظامان ديناميكيّان يتفاعلان بشكل دائم. وحتى لو كان ذلك صحيحا بدون أيّ شكّ، فإنّه لا يجعل من استنتاج العناصر المسيطرة وراثيا لا يقلّ أهمية عن ذلك.

ما عاد هذا الموضوع سؤالا فلسفيا. إذا كان تأثير الطبيعة هو الأكبر وأنّ جيناتنا هي العامل الفعّال في تقرير كينونتنا، فإنّ إصلاح الخلل أو إجراء تعديل له، يجب أن يتمّ على المستوى الجيني. وإذا كان الأمر هو الرعاية وأنّنا نتأثر بالعوامل البيئية من حولنا، فليس من المعقول أن نفكّر بتحويل جيناتنا المعقدة لإحداث التغيّرات، التي نريدها، في حين أنّ التغيّرات البيئية الحميدة، هي من يستطيع فعل ذلك.

من المستحيل وضع خطّ دقيق بين الطبيعة والرعاية. لكنّ أجيالا من الدراسات التي اجريت على التوائم، ساعدت العلماء على فهم الدور، الذي تلعبه الجينات للتأثيرعلينا. فمثلا تمّ فصل التوائم المتطابقة عند الولادة، فهيّأ ذلك فرصة كبيرة لفهم أفضل لدور الجينات. فلو كان لها دور أكبر لكان التؤمان متشابهين تماما لبعضهما البعض في السلوك والشخصية والقدرات.

التوائم المتطابقة هي التي تكون نسخة طبق الأصل من بعضها البعض عند الولادة. فإذا كان الوليدان 100% نتيجة الجينات الوراثية، فسيبقى هذان التؤمان متطابقين طيلة حياتهما. يُعتبر مرض انفصام الشخصية Schizophrenia خير اختبار لحالة كهذه. وُجِد أنّ 50% من التوائم المتطابقة يشتركون في هذا الخلل العقلي المزمن، مقارنة بحوالى 15% من التوائم المتشابهة. يظهر أنّ هذا المرض يعود إلى جينات وراثية. ولكن لأنّ كافة التوائم المتطابقة لا تعاني من هذه المشكلة، فإنّنا نفهم من ذلك أنّ بعض العوامل البيئية وربّما غيرها من العوامل غير الوراثية قد يكون لها تأثير.

قام عالم النفس المتخصص في علم الوراثة تومَس بوچارد بدراسة على مدى عدة حقب على توائم متطابقة فُصِلت عند الولادة. وجد أنّ التؤام المتطابق، الذي ينشأ في بيئة مختلفة، لهما نفس الفرص للاشتراك بالصفات الشخصية والاهتمامات والمواقف، كما الحال وكأنّهما تربّيا سوية[70]. لقد سمعنا الكثير من القصص عن هذا النوع من التوائم، الذي يُربى وينشأ في بيئات مختلفة، أنّ لهما نفس الصفات حين التقيا في الكبر.

التؤام المتطابق جِم *لِوِس* وجِم *سپرِنگر* فُصلا عن بعضهما بعد 4 أسابيع من ولادتهما. وحين التقيا فيما بعد إثر 39 عامًا في عام 1979، وُجد أنّهما يقضمان اظافرهما ولديهما صراع مستمر ويُدخنان نفس النوع من السجائر ويقودان نفس النوع من السيارات ويتردّدان على نفس شاطئ البحر في فلورِدا. هذه القصص ليست حكايات، لكنّها مؤشرات لظواهر جينية عميقة. ورغم أنّ دراسات التوائم هذه قد ركّزت على التشابه بين التؤامين اللذين يعودان لأصول جينيّة أكثر منها بيئية، لكنّ هذا لا يعني اطلاقا اهمال قضايا ذات أهمية عالية مثل الحب الذي حظيا به من اسرتيهما وكذلك كافة جوانب الرعاية التي توفرت لهما[71]. جرى تنفيذ مثل هذه الدراسات حول العالم.

في عام 2015 قام جمع من العلماء المغامرين باستخدام نتائج دراسات اجريت على التوائم خلال 50 سنة الماضية، وحاولوا التوصّل إلى نتائج من خلال استعراض ودراسة 2748 بحثا منشورا لمتابعة 17804 صفة لمجموعة من التوائم بلغ عددها 14558903 زوجا موزعين في 39 بلدا مختلفا. استعملوا معادلات احصائية واسعة لغرض تحديد أفضل للتوازن بين التأثيرات الوراثية والبيئية. تأكّدوا أنّ قياس الصفات البشرية موروث جزئيا، لكنّ غيرها يختلف عن ذلك. توصلوا في النهاية أنّ القضايا العصبية وتلك التي تخصّ القلب والشخصية والعيون والفكر ومشاكل الأنف والأذنين والحنجرة، أغلبها يعود إلى أسباب وراثية. توصّل الباحثون إلى أنّ الصفات، التي يمكن

قياسها شكّلت حوالى 49%[72]. إذا كانت هذه الاستنتاجات صحيحة، فإنّ نصف السمات البشرية يعود إلى أصول جينية. وهذا أمر يسرّ المفكرين الكلاسيكيين، لأنّ *إفلاطون* و*أرسطو* كانا على صواب معا.

إنّ احتمال تكويننا بنصف طبيعي ونصف آخر نتيجة الرعاية، يجعل الفرد يشعر بالارتياح. يعتقد العديد من الآباء والأمهات أنّ لديهم حسّ مباشر عن كلّ وليد جديد وماذا سيكون مزاجه، منبسطا سعيدا أم سريع الغضب. أنا متأكّد أنّ بعض هذا الاعتقاد يعود إلى فترة متأخرة، وبعد أن يكبر الطفل ويكون متفائلا أو عصبيّا أو حتى عدوانيا. ولكنّ جزء من هذا الاعتقاد يعود إلى العوامل الوراثية. ولو افترضنا للحظة بأنّنا نصف طبيعي مولود بصفات وراثية أكثر من الآخرين، فإلى أيّ مدى يمكننا الذهاب لكي نفهم العوامل الجينية والحيوية في تكوين شخصية كلّ منّا؟

نعرف من خلال الحدس ومن البحوث أنّ مسألة الطول سمة وراثية، ولكن ليس دائمًا. تلعب عوامل أخرى مثل البروتين والكالسيوم وفيتامين A وفيتامين D أدوارا اساسية في نمو الأطفال. حين حدثت المجاعة الكارثية في كوريا الشمالية في التسعينات، انتشر سوء التغذية، الذي اعاق نمو جيل كامل من الأطفال الصغار في البلاد. كان الجيل الذي سبق المجاعة أقرب إلى معدل طول الفرد في كوريا الجنوبية. لكنّ الجيل الكوري الشمالي الذي عانى من المجاعة في تسعينات القرن الماضي، بدا أقصر بحوالى 3 انجات عن طول معاصرية في كوريا الجنوبية[73]. يخبرنا هذا أنّه مهما كان التنبؤ بالجينات المتعلقة بالطول، فإنّ طول قامة الفرد مرهون بنوع التغذية، التي يتلقاها، خاصّة إذا كانت ناقصة أوغير غنية بالمصادر التي اشرنا اليها.

إذا كان طول القائمة قائما على الجينات في الغالب، فإنّ الخطوة التالية تتطلب تشخيص الجين المتعلق بهذه السمة. يوجد عدد قليل من الطفرات الجينية، التي يمكن أن تجعل الفرد طويلًا للغاية أم قصيرا للغاية. فالطفرة في الجين المسمى FBNI مثلا يمكن أن تخلق **متلازمة مرفَن**، أي أن يكون الشخص طويلًا للغاية ونحيلا وطويل الذراعين. الرئيس الأمريكي *إبرَهام لِنكِن* والسباح الأولمپي *مايكِل فِلپِس*، هما من هذا الصنف. أمّا عكسها المسمى أكندروپَليزيا Achondroplasia فينجم عن طفرة FGFR3 في الجين، والتي تتسبب في قصر الأطراف والقامة، أو حالة الأقزام.

لكنّ هذه الأمثلة عن الطفرات في جين واحد، والتي يكون لها تأثير على الطول بالغة الندرة للغاية. في اغلب الحالات يتأثر طول القامة بمئات أو ربّما الآلاف من الجينات إضافة للعوامل

البيئية، خاصة التغذية[74]. يعتقد الخبراء أنّ حوالى 60% إلى 80% في اختلاف طول القامة بين الناس يعتمد على الجينات الوراثية[75]. وهذا يجعل للحدس معنى. إنّ طول قامة الفرد ليس استطالة جزء من جسمه مثل طول رقبة الزرافة أو بدلا من ذلك أنّنا طوال لأن كلّ جزء منّا أطول قليلا من المعتاد، ويعتقد أنّ حوالى 800 جينا مختلفا لها تأثير على طول القامة، بشكل أو بآخر.

بالرغم من أنّ قائمة المسبّبات الوراثية لطول القامة لم تكتشف تماما، فإنّ ذلك هو ما دفع ستيفِن هِسو، عالم الفيزياء النظرية ونائب رئيس مركز البحوث في جامعة مِشِگن الحكومية للقيام ببحوثه، التي لا تُصدّق. اظهر فيها كيف يمكن التنبؤ بدقة في مسألة الطول عن طريق العوامل الوراثية المعروفة، اعتمادًا على دراسة لحوالى 500 ألفا من حالات التسلسل الجينومي، والتي حصل عليها من بنك المعلومات البايولوجية للملكة المتحدة. عمل هَسو وفريقه من العاملين على مسألة التنبؤ بطول قامة الفرد اعتمادًا على جيناته فقط. وحين تمّ إنجاز العمليات الحسابية، قارنوا الاستعدادات الجينية بالطول الفعلي للأفراد. تمكنوا من التنبؤ عن طريق مقارنة البيانات الجينية للطول الفعلي للأفراد من التوصّل إلى التنبؤ بطول قامة الأفراد بفرق ضئيل لا يتجاوز الإنج[76].

يفيد التنبؤ بطول قامة الفرد اعتمادًا على الجينات الوراثية، في التعرّف على أيّ خلل في النمو خلال المراحل المبكرة من حياة الطفل. غير أنّ هذه القدرة تثير بعض التساؤل. التنبؤ بمثل هذه السمة المعقدة يفتح الباب على مصراعيه لإمكانية الفهم والتنبؤ والاختيار وفي النهاية تحويل هذه السمة المعقدة وغيرها من مثيلاتها، إلى جانب الأمراض التي تنتقل وراثيا. قام هَسو وفريقه بتطبيق لوغارتيمات حسابية مماثلة للتنبؤ بكثافة عظام كعب الإنسان. استخدمت هذه الطريقة للتنبؤ بالاستعداد الوراثي الجزئي لأمراض من قبيل النسيان Alzheimer وسرطان المبيض وانفصام الشخصية والصنف الأول من مرض السكّري، وغيرها من السّمات الجينية بعد إكمال عملية التسلسل الجينومي لعدد كاف من الأفراد المصابين بهذه الأمراض ويحملون نفس السمات، ثمّ أدخلت تلك المعلومات في قاعدة للبيانات المشتركة[77].

من المعقول أنّ التنبؤ بالسمات الوراثية تماما يكون أسهل من السمات التي تتأثر بعدد قليل من المؤشرات الوراثية، بدلا من المئات والآلاف منها. وهذا هو ما يجعلنا بحاجة إلى قاعدة موسعة من المعلومات لكي نتنبأ بالسمات الأكثر تعقيدًا مقارنة بما نفعله بتلك الأبسط من الناحية الجينية. من جهة أخرى، إذا كانت الصفة وراثية جزئيا، بإمكاننا أن نستعمل فقط فئة من البيانات الجينية كي نتنبأ

بحجم الجزء الوراثي الخاص بها. واذا توفر لدينا الشعور عن كيفية سمة وراثية معينة وتخمينا أوليّا عن عدد الجينات، التي تؤثر في تلك الصفة، يمكننا إذن أن نبدأ بتقدير عدد تسلسلات جينوم البشر وسجلات حياتهم، التي نحتاج إليها، لكي نتنبأ بحصة الجينات لتلك الصفة من قاعدة البيانات الجينية وحدها. بالنسبة لأكثر الأمراض شيوعا، من التي تصيب البالغين من الناس، فإنّ العدد المقدّر هو حوالى مليون حالة. أمّا بالنسبة للعديد من الأمراض النفسية، فإنّ العدد يصل ما بين 1-2 مليون حالة[78]. أمّا غالبية الصفات الجينية المعقدة، فيمكن التنبؤ بها بشكل جيد اعتمادًا على البيانات، وهي تشمل عددا قليلا من الملايين. وكلما اتسعت قاعدة البيانات وتحسّنت نوعيتها، فإنّ ذلك هو الأفضل.

إنّ مسألتي طول القامة ومخاطر الأمراض الوراثية معقدتان للغاية. كما أنّ غالبية الصفات الوراثية، باستثناء الذكاء، هي من بين أهمّ السّمات عند البشر واعقدها. وسيُشكّل الخوض فيها مصاعب شديدة للغاية أيضا.

* * *

منذ ظهر مفهوم الذكاء، بدأ الناس يتناقشون حول كيفية قياسه. يصعب جدًّا تحديد الذكاء العام، رغم أنّ البعض قد حاول ذلك. فمثلا التعريف بأنّه «القدرة على المحاججة والتخطيط وحلّ المشكلات والتفكير المجرّد واستيعاب الأفكار المجردة والتعلم السريع والتعلم من الخبرة والتجارب التي يمرّ بها الفرد». لكنّ هذا التعريف يفتقد إلى أشياء أخرى كثيرة[79].

الذكاء، كغيره من السمات، ذو قيمة ضمن سياق معيّن. وتوجد أصناف منه بعدد أصناف البشر. لا أحد ذكي أو وسيم أو قويّ على المدى المطلق. لو نقلت أحدا ما من بيئته لوجدت أنّ ذكاءه سيكون أكثر أو أقل، بالنسبة له. كان *ألبرت آينشتاين* أذكى من غالبيتنا، لكنّني لست متأكّدا إن كانت ألمعيّته هذه ستساعده في إيجاد الماء والغذاء في وقت الشحّة.

رغم وجود ميل مغر للنقاش السياسي، بأنّ أيّ ترتيب للذكاء يولد نوعا من التمييز، لكنّ تقدمنا كبشر يتطلب أن نرتب الذكاء وفق الشكل العام ووفق مهام محدّدة، وأن نحاول جهدنا للتأكّد أنّ اغلب الناس القادرين يقومون بالمهام التي تتناسب مع قدراتهم، في عالم تكون فيه قدراتهم الجينية متناسبة مع أدوارهم. وحيث يُعطى الذكاء العام الأولوية، فإنّنا نحتاج أن نحترم كافة أنماط الذكاء لكي ننتفع إلى اقصى قدر ممكن من هذا التنوع بيننا في الوقت الذي نحقق فيه إنسانيتنا. (ولكي نقطع

الطريق على الفنانين التجريديين من أن يديروا المحطات النووية لتوليد الكهرباء!) القول بأنّ الذكاء متنوع لا يمنع من اعترافنا بأنّ أشكاله العديدة موروثة، خاصة ضمن سياق معيّن.

ولربّما أكثر من أيّة سمات أخرى، قام خلاف حادّ حول وراثة الذكاء. في أواخر القرن الثامن عشر، حاول عالم الرياضيات الإنكليزي السير *فرانسِس گالتُن* أن يقيس ويقارن الحسّ وغيره من الصفات لدى النبلاء البريطانيين بالمقارنة مع عامة الناس. كانت الجهود المنحازة تحاول إظهار تفوّق وراثة النبلاء. لكنّ المحاولة لم تفد أيّ شيء سوى تسليط الضوء على أنّ فكرة اختبار الذكاء بحدّ ذاتها كانت مفعمة بالشّكّ منذ البداية. وبعد فترة حقبتين، وضع عالم النفس الفرنسي *ألفرِّد بينيه* سلسلة من الأسئلة المخصصة للأطفال المحتاجين للمساعدة الخاصّة في المدارس، اعتمادًا على الرأي القائم بأنّ تلك الأسئلة هي التي يستطيع الطالب المتوسط الذكاء أن يجيب عنها. أمّا الذين لم يقدروا على الإجابة عنها، فقد اعتُبِروا بأنّهم يمتلكون قدرات عقلية أقلّ من المتوسط.

إنّ هذه الفكرة بوجود معدل ذكاء متوسط هي التي قادت إلى الاعتقاد بأنّ الناس إمّا أن يكونوا فوق معدل الذكاء أو دونه. وقد دفع هذا عالم النفس الألماني وِليَم شتَرن، الذي وضع معدل الذكاء IQ بأنّه 100، للقول إذا كان الفرد يمتلك قدرة ذكاء بمقدار 120، فمعنى ذلك أنّه يمتلك ما مقداره 20% درجة اعلى من المتوسط. وإذا سجل في اختبار IQ درجة 80 فإنّه أقلّ من المتوسط بمقدار 20%. تعرّف عالم النفس الأمريكي چالز سپِرمَن على أنّ القدرات الإدراكية لدى الأطفال ترتبط بعدة أشياء متنوعة. بمعنى أنّ الطفل الذي يؤدي أداء حسنا في شيء معين، فإنّه يؤدي مثل ذلك في أشياء أخرى. وهو الذي جاء بمفهوم عامل الذكاء العام General Factor[80] Intelligence.

انتشر مفهوم معدل الذكاء IQ انتشارًا سريعًا حول العالم واستعمِل من قبل عدة مؤسسات أكثرها شهرة الجيش الأمريكي خلال الحرب العالمية الأولى لتقييم الاستعداد العام للقيام بمهام عدة. ورغم أنّ اختبارات معدل الذكاء قد ساعدت الجيش الأمريكي لقياس استعدادات معينة، فإنّ نتائج اختبارات IQ أظهرت الفوارق بين المجموعات. والأسوأ أنّها استخدِمت من قبل اكاديميين بارزين مثل *كارل بريگم*، أستاذ جامعة پرنستن، كي يجادل بأنّ الهجرة والتداخل العنصري سيؤديان لضعف خزين الجينات الأمريكية.

بالرغم من هذه الخلفية المشكوكِ فيها، أظهر اختبار معدل الذكاء والعديد من الدراسات، كما شرحت طبيبة عيادة الإخصاب، مرتبط جدّا بصحة الفرد ومدى تحصيله الدراسي وازدهار وضعه

الاقتصادي وطول العمر[81]. العديد من القدرات العقلية العامة، التي استفاد منها الأسلاف بما فيها الذاكرة وطرق التعرّف على الأشياء والقدرة اللغوية والكفاءة في الرياضيات، مرتبطة إيجابيًّا، وأنّ الأفراد ذوي معدلات الذكاء العالية يسجلون عاليًا في الاختبارات المعرفية. وعلى أيّة حال وفي رأي المنتقدين، ظل معدل الذكاء محافظًا على مصداقيته الذاتية وعدم دقته وعدم أخذه بالاختلافات العنصرية والاجتماعية المتحيزة والخطيرة المشكوك فيها للغاية بشكل عام[82].

وصل هذا النقاش أوجه في الولايات المتحدة إثر نشر كتاب بعنوان **منحنى التوزيع الطبيعي**: الذكاء والبناء الطبقي في الحياة الأمريكية The Bell Curve من تأليف *رِچرد هَرنِستين* و*چالز مَوري*، الذي وصفا فيه الذكاء بأنّه الخط الفاصل الجديد في المجتمع الأمريكي. أخذ المؤلفان في بداية الكتاب الموقف الذي يمكن الدفاع عنه وهو عامل القدرات الفكرية العامة، الذي يمكن قياسه بطريقة موثوقة للتمييز بين الناس وتكون نسبة الوراثة فيها 40- 80%. ورغم أنّ *هَرنِستين* و*مَوري* أقرّا أنّ الذكاء يعود إلى عوامل وراثية وأخرى بيئية، إلا انّهما اقترحا بطريقة مثيرة للجدل أنّ الجينات توضّح لماذا تسجّل بعض الجماعات درجات أقلّ من غيرها في اختبارات معدل الذكاء، وإنّ تقييد المحفزات الحكومية للأمهات الفقيرات في مسألة الإنجاب سيزيد من ارتفاع معدلات الذكاء في الولايات المتحدة[83]. وهكذا عن طريق الرفع المتلازم لبعض الموضوعات المحرمة للفروق الفكرية بين الأفراد والجماعات، فإنّ *هَرنِستين* و*مَوري* دفعا معدّل الذكاء والعنصر ليكونا مادة احتجاج في ساحة الرأي العام التقدمي.

شخّص بوب هِربَرت، الكاتب في نو يورك تايمز منحنى التوزيع الطبيعي بأنّه «قطعة عنيدة من الإباحيّة العرقية المتنكّرة بلبوس الأكاديمية الجادة»[84]. أمّا أستاذ هارفرد *ستيفِن جَي گولد*، وهو ناقد قديم لمفهوم عامل الذكاء العام، فقد جادل بأنّ العوامل البيئية الأخرى، مثل التغذية أثناء الحمل والحياة المنزلية والطريق للحصول على تعليم جيد لها تأثير هام أكبر على ذكاء الفرد من إدعاءات *هَرنِستين* و*مَوري*[85]. أمّا النقاد الآخرون، فقد هاجموا الكتاب باعتباره اختزاليا من الناحية العلمية وقذرا ومتحيّزا بشكل خطير[86].

وعلى أيّة حال، فإنّه في ضوء هذه الظروف المثيرة للخلاف، فإنّ عددا مهمّا من الباحثين، جاءوا للدفاع عن المبادئ بأنّ القدرات الفكرية العامة في اغلبها تعود إلى الجينات الوراثية. وفي نفس الوقت، حاولوا جهدهم تحاشي الخطر الواضح للربط بين علم الوراثة والسياسات المثيرة

للخلاف والمتعلقة بالعنصر والجنس. أصدر 52 أستاذًا مشهورًا بيانًا نشرته صحيفة الوول ستريت جورنَل في شهر ديسمبر من عام 1994، أكّدوا فيه أنّ الذكاء يمكن أن يُحدّد ويمكن اختباره بدقة وبأنّه في غالبيته يعود إلى الجينات الوراثية وأنّ معدّل الذكاء IQ مرتبط بقوة، ربّما أكثر من أيّ من الصفات البشرية الأخرى القابلة للقياس، وله نتائج تربوية ومهنية واقتصادية واجتماعية[87]. وبالرغم من ذلك فإنّ *هَرنِستين* و*مَوري* كانا من أوجه عدة رسولين معيبين قدّما اقتراحات لسياسة شنيعة بأنّ فكرة معدّل الذكاء تقوم على عنصر حقيقي يمكن قياسه ويعتمد على عنصر جيني موروث، من الصعب إنكاره.

ساعدت الدراسات التي أجريت على التوائم المتطابقة وإخوانهم على مدى حقب عديدة على توضيح كم من معدل الذكاء لدينا يقوم على الجينات مقابل الخبرة. دراسة عوائل التوائم في منسوتا، التي أجريت بين الأعوام 1979- 1990، تمّت فيها متابعة 137 زوجا من التوائم بينهم 81 توأمًا متطابقًا و56 من إخوانهم، من الذين فُصلوا عن بعضهم البعض في حياتهم وتمت تربيتهم في بيئات مختلفة. وما يشبه نتائج البحوث التي أجريت حول تركيب الجينات التي تقرر طول القامة، فإنّ الباحثين في منسوتا وجدوا أنّ 70% من معدل الذكاء يقوم على الجينات وأنّ 30% الأخرى ناتج عن خبرات التجارب المختلفة. وهذه نتائج تتفق مع نتائج الدراسات، التي أجريت على التوائم المتطابقة[88]. إنّ مراجعة سريعة للأدبيات الحديثة حول الدراسات المختلفة عن الجينات، يقدرها اختبار معدل الذكاء بأنّها تشكل 60% من الموروث[89]. نظرًا لأنّ معدّل الذكاء هو قياس شيء يمكن التعبير عنه ويمكن إدراكه ونحن نتعلم وننمو، فهذا هو السبب في عدم تطبيق اختبارات معدل الذكاء على الأطفال حديثي الولادة، وأنّ الجينات الموروثة لمعدل الذكاء تميل إلى الزيادة كلما ازداد الفرد عمرًا[90].

ومع ذلك، فإنّ مفهوم معدل الذكاء بحدّ ذاته، حتى وإن كان جزئيًّا، فإنّه يقوم على الجينات ويظل موضوعًا حساسًا. لقد أثيرت أسئلة بشكل مستمر حول إن كانت البحوث عن دراسة عوائل توائم منسوتا، قد يكون فيها تحيّز راجع إلى الطبقة الاجتماعية. في عام 2003 قرّر *أرِك تِكماير*، أستاذ علم النفس في جامعة فرجينيا أن يختبر إنْ كانت نسبة الوراثة في الذكاء هي نفسها بالنسبة للنسوة الفقيرات، كما حصل في حالة اختبارات توائم جماعات من الطبقة الوسطى في العديد من الدراسات المثيرة للاهتمام. وجد أنّ المؤشرات الجينية لمعدل الذكاء كانت أقلّ دقة بالنسبة لأطفال

من عائلات فقيرة أقلّ حظًا[91]. قد يكون أحد التفسيرات لذلك أنّ اختبارات معدل الذكاء متحيزة بشكل معيب. أخرى قد تكون عوامل بيئية سلبية لها تأثير نسبي أكبر من الأخرى الإيجابية في ظروف الحرمان. مثال على ذلك، قلة الطعام في كوريا الشمالية، التي جعلت العوامل البيئية أكثر أهمية في حياة الأطفال المولودين في فترة التسعينات مقارنة ببقية سكان البلد. إذا قبلنا نتائج الأغلبية الكبرى من الدراسات المتعلقة بمعدل الذكاء، فإنّه أكثر وليس بالكامل وراثيا. يصبح السؤال إذن، كيف نستطيع أن نعرف الجينات المحددة لمعدل الذكاء. للإجابة عن هذا السؤال، قام العلماء بإجراء دراسات عديدة خلال السنوات الحديثة، وهم يحاولون تحديد آلاف الجينات، التي تؤثر في معدل الذكاء. بالرغم من أنّ قليلًا من المتغيّرات الوراثية[92] مرتبطة بدرجات الذكاء، التي تفوق المعدل، قد تمّ تحديدها عام 2016 بأنّها حوالى 200 متغيّرًا منذ ذلك الحين[93]. ورغم هذا التقدم المدهش، فإنّ الجينات المحددة ومتغيرات الوراثة مسؤولة فقط عن نسبة قليلة من الاختلافات في معدّل الذكاء بين الأفراد[94]. إنّ تحديد بضع مئات من الجينات من بين الآلاف المحتملة المؤثرة في ذكاء الفرد، يخبرنا القليل جدًّا عن ذكاء الفرد الحقيقي والمحتمل وسط مخطط أكبر من الأشياء.

ومع ذلك...

إنّ قدرتنا على تحديد تلك الجينات وحصرها سريعا في جانب واحد من المرحلة الأولى من ثورة الجينات، تقترح بقوة بأنّنا سنجد المزيد منها مع تزايد أعداد الأفراد الذين يخضعون للتسلسل الجينومي ويفتحون المجال للاطلاع على سجلات حياتهم. يشترط ذلك مصاحبة تقدم في الآلات الحسابية وتوسّع القدرات لتحليل كميات كبيرة من المعلومات، إضافة إلى توفير التمويل ومساهمة المواطنين والنظام التعليمي والشركات والمصادر الحكومية بهذه الجهود[95]. يحتاج عدد الجينات الكلي المؤثر في معدل الذكاء، بالضرورة إلى تحديد عدد أقلّ بكثير جدا من 21 ألفًا من الجينات، وهو العدد الموجود في الجينوم البشري. إنّ طريقنا لتحديد 200 جينًا قد توسعت في السنوات الأخيرة. وعليه فإنّه بالإمكان التوصل إلى بعض الآلاف.

كما حصل تقدم كبير في كسر شفرة الجين الخاص بمعدل الذكاء IQ. ومع ذلك ما زال الطريق طويلًا، والسؤال هو كم شدة التعقيد في جين الذكاء مقارنة بجيل طول القامة؟ أكثر من مرتين أم ثلاث أم خمس مرات؟ بالتأكيد إنّه ليس أكثر من 10 مرات تعقيدًا.

يقترح التحليل الأولي، الذي طرحه ستيف هَسو والعمل المبدع، الذي قامت به عالمة الإحصاء البايولوجي *يان زانگ* وفريقها في جامعة جونز هوپكِنز، أنّ غالبية السمات لها معدل وراثي قدره 50% أو أكثر، ويمكن التنبؤ بدرجة دقيقة نسبيا حين تتوفر المعلومات عن مليون من الأفراد، الذين تمّ وضع التسلسل الجينومي لهم، إضافة إلى توفر سجلات حياتهم لأغراض البحث[96]. لنقل للحظة أنّ ذكاء الإنسان أكثر تعقيدًا بمقدار خمس مرات مما جاء به *هَسوو زانگ*. وهذا يعني 5 ملايين من البشر ممّن يوضع لهم تسلسل جينومي وتتوفر المعلومات الخاصة عن حياتهم، لأغراض البحث. وهذا كثير في معايير أيامنا هذه، ولكنّه ليس كثيرا بالمقارنة مع 2 بليون شخصا، من الممكن أن يوضع لهم تسلسل جينومي خلال الحقبة القادمة.

ربّما أكثر تعقيدًا من فهم سمات البشر المعقدة، أن نضع بالأرقام أنماط الشخصية. الشخصية سمة بشرية حميمية. ولذلك، بلعتِ ريقَكِ حين تطرقتْ الطبيبة في عيادة الإخصاب إلى هذا الموضوع باعتباره على قائمة اختيارات الوالدين للجنين الذي يريدانه. رغم أنّ الاختبارات التي وضعها *مايرزوبِرِگز* للتعبير بالأرقام عن أنماط الشخصية، فإنّ هذه المسألة لا تزال فنّا أكثر من كونها علما.

قسّمت الدراسات الرائدة في نظرية الشخصية، التي تعود إلى فترة خمسينات القرن الماضي، أنماط الشخصية إلى 5 فئات رئيسية. وهي المنبسطة extroversion والعصابية neuroticism والمنفتحة openness وذات الضمير الحيّ conscientiousness والميالة للتوافق agreeableness. وبطبيعة الحال، فإنّ كلّ فرد منّا يقع ضمن طيف هذه النماذج، وهذه بالضرورة مقاييس نسبية وشخصية. لكنّنا بالتأكيد نستطيع أن نصنّف أصدقاءنا وأفراد عوائلنا بأنّهم أقلّ أو أكثر انبساطا وأقلّ أو أكثر عصابية... الخ. وعليه فإنّ هذه التصنيفات ليست بالتأكيد لا معنى لها.

من المعتاد أنّ الدراسات الخاصة بالتوائم قد كشفت الكثير عن أنماط الشخصية. فيما يتعلق بمقاييسنا المتعددة لأنماط الشخصية والأمزجة والاهتمامات المهنية وهوايات أوقات الفراغ والمواقف الاجتماعية، فإنّ **بحوث توائم مِنَسوتا** وجدت، «أنّ التوائم المتطابقة، التي تربّت بعيدة عن بعضها البعض، قد اظهرت صفات متماثلة وكأنّها تربّت سوية... إنّ تأثيرات تربية التوائم تحت سقف واحد تكاد تكون عديمة الجدوى فيما يتعلق بالصفات النفسية»[97].

ليست الدراسات الخاصة بالتوائم هي الطريقة التي تعمّق فيها الباحثون عن جينات أنماط الشخصية. جمع العلماء من جامعة كاليفورنيا فرع سان دياگو بيانات لمقارنة مئات الألوف من جينوم الأفراد بالمعلومات التي سجّلها هؤلاء على استبيانات حول أنماط شخصياتهم، وذلك في دراسة نُشرت عام 2016 في **مجلة علم الوراثة الطبيعية** Nature Genetics. حين قارنوا تسلسل الجينوم لبعض الأفراد، الذين وصفوا انفسهم بأنّ لديهم ميزات شخصية مماثلة، استطاع الباحثون تحديد 6 مؤشرات جينية لها علاقة هامة بنمط الشخصية. فمثلا، الانبساط مرتبط بمتغيرات في جين WSD3 وأيضًا جين PCDH15. أمّا العصابية فمرتبطة بمتغيرات جين L3MBTL2[98]. ومن خلال تفحّص بعض النقاط في الجينوم، شعر العلماء المذكورون أنّ باستطاعتهم التنبؤ بسهولة عن نمط شخصية الفرد.

لربّما من المستحيل القول إنّ نماذج الشخصية المعقدة جميعا، باستثناء بعض الحالات النادرة، تتأثر تماما أو بقدر أكبر بالطفرات في جين واحد، كما ذكرنا أعلاه. ولكن هناك احتمال عال يصل حدّ التأكّد أنّ الأسس الوراثية للشخصية سيمكن تحديدها في السنوات القادمة.

* * *

تظهر الدراسات للكشف عن جينات الطول والذكاء وأنماط الشخصية أنّنا سنزداد قدرة على فكّ الغاز المكوّنات الجينية الخاصة بصفاتنا البشرية الحميمية المعقدة بشكل يزداد دقة بمرور الوقت. وحتى لو لم نستطع كشف الجينات الأساسية لتلك السمات لعدة حقب، فإنّنا لا نحتاج الفهم الكامل لاستخدام معرفتنا المحدود المتزايدة عن الجينات في مجالات الصحة والرعاية والإخصاب بمزيد من الثقة. سنتحوّل تدريجيًّا من رعايتنا الصحية العامة التي تعتمد على معدلات السكان إلى الرعاية الصحية الدقيقة، التي تقوم على الاستجابة الاستباقية إلى استعداداتنا الوراثية. وربّما أكثر أهمية، سنبدأ في دمج تنبؤاتنا الوراثية في عملية اتخاذ القرارات الخاصة بالإنجاب.

إنّ التطبيقات البشرية لمثل هذه الاختبارات، هي التي جعلتكِ غير مرتاحة حين بدأت الطبيبة توضّح لكِ الخيارات وأنتِ في عيادة الإخصاب، اعتمادًا على معرفتها المتقدمة غير المتكاملة عن كيفية عمل الجينات. وحتى في ضوء هذه المعرفة المحدودة سيكون كلّ منّا، بطريقة أو بأخرى، في حاجة ليقرّر إن كان سيوقع على استمارة الطبيبة أم لا.

سيكون اتخاذ مثل هذه القرارات في عيادة عام 2035 ذا عتبة واطئة بالنسبة للسلامة، إذا قورنت بما سيأتي بعد ذلك. إنّ كلّا من تلك الأجنة في عام 2035 سيكون طبيعيا وغير معدّل من

ذرّيتكِ. وحتى لو أنّ فهمنا لعلم الوراثة أثبت خطأه، فإنّ كافة الآباء والأمّهات، الذين يلجأون إلى الإخصاب المختبري واختيار الأجنة قبل زرعها، سيولد لهم أطفال «طبيعيون» حالهم حال الآخرين[99] ولكن في الوقت حين يصبح اختراق البايولوجيا حدّ المزاج الجديد بالنسبة لأجيالنا، فهناك فرصة قليلة لاستخدام تكنولوجيا الوراثة في عمليات الإنجاب، وسينتهي الأمر باختبار عدد قليل من الأجنة قبل زرعها.

الفصل الرابع
نـهاية العملية الجنسية

لم اعترف بكل شيء في مقدمتي لهذا الكتاب. لقد توقفت عن رواية قصتي كاملة في بنك تجميد الحيوانات المنوية والبويضات Cryobank قبل أن تكتمل. لقد حذفت كلمة.

أخبرني الطبيب في مصرف التجميد أنّ موظفة الاستقبال خفيفة الظل، التي كانت أيضًا ممرضة في ذات الوقت، ستأخذني إلى غرفة خلفية يسموّنها «زاوية الاستمناء». وهذا اسم حقيقي لها [100] masturabatrium.

احمرّ لوني قليلًا وهي تقودني عبر الممر وأعطتني وعاءً صغيرًا من البلاستِك. فتحتْ باب غرفة صغيرة، ربّما استعمِلت في الماضي كخزانة لمكانس التنظيف. كانت معقّمة وطليت جدرانها باللون الأبيض. وفي جانب منها كانت توجد كابينة للإمدادات الطبية. الشيء الوحيد الذي يُفصح عن الغرض من وجودها هو جهاز فديو يعرض على شاشة تلفزيون أشرطة إباحية. لا أدري إن كان أحدهم لمحني وأنا أدخل تلك الغرفة وأختار الفديو المفضّل لدي! هل كان هناك شيء يقترح أنّ جسمي يحمل أوشامًا؟

قالت بلهجة مهنيّة، «المجلات موجودة على هذا الرّف»، وهي تشير إلى كومة مجلات إباحية مهترئة. «إذا لم يعجبك الفديو الحالي، فبإمكانك أن تختار فديو آخر. الفديوهات موجود في هذا الدرج ومرتبة حسب النوع. ضع دولارًا في المكان المخصص وخذ ما تشاء منها. وحين تنتهي من مهمتك، اترك العينة في القنينة واحكم إغلاقها جيدًا وضعها على الطاولة. هل تحتاج شيئًا آخر؟».

هززت رأسي، وحالي يقول، أريد حفرة أطمر نفسي فيها!

حين اجتازت عتبة الباب وأغلقته خلفها، بدأت انظر حولي وانتابني شعور بأنّني مريض أشعر بالراحة وأنا أسمع صوت شخير وأنين خافت. هل هذا حقًّا هو ما هيأه لي مفهوم التطور البشري؟ هنالك مواقف أفضل تخيلتها أن تكون أقلّ دونية من هذه الصورة. فكّرت في تلك اللحظة بموقف الجلوس على كرسي في عيادة طبيب الأسنان، مثلًا[101].

رغم غرابة الموقف المقزّزة، فقد عدت إلى عملي قبل انتهاء الفترة المقررة للغداء. في الحقيقة لم تكن الخبرة سيئة للغاية. السبب هو لأنّني رجل.

يُطلق الرجل السليم البدن خلال حياته ما يقارب أكثر من 500 بليون حيمنا. وهذا يعادل ما بين 40 مليونا إلى 1.2 بليونا من الخلايا المنوية في كلّ عملية قذف. وكغيرنا من الحيوانات الثديية، فإنّنا ننتج حيامن كثيرة للغاية، لأنّنا نتنافس مع الذكور الآخرين على مدى مئات ملايين السنين، كي نوصل الحيمن القادر للبيضة الأنثوية المرغوبة والجاهزة. تلك هي الطريقة التي بُني عليها جنسنا اعتمادًا على طرح المزيد من الحيامن. وهذا هو السبب في أنّ غرفة الاستمناء لا تختلف كثيرا عن غرفة خزن مكانس التنظيف. ليس فيها تكنولوجيا تستحق الذكر سوى جهاز تلفزيون قديم وجهاز رخيص لعرض أشرطة الفديو الإباحية.

أمّا بالنسبة للمرأة، فالقصة مختلفة تماما.

تولد الأنثى وهي تحمل مليونين من بصيلات البيض egg follicles، وتكون هذه البصيلات مغلقة قبل وصول الأنثى إلى سنّ البلوغ. يترك هذا التأخير ما يقرب من 300 إلى 400 بويضة فقط تنضج خلال الحقب التالية وتكون مستعدة للإخصاب. وهذا فرق كبير حين نقارن بين 500 بليون من خلايا الحيوانات المنوية لدى الرجل مع ما يقارب 400 بويضة لدى المرأة. وبالمقارنة أيضًا، فإنّ أخذ عينة من الحيوانات المنوية لدى الرجل أسهل بكثير للغاية من سحب بويضة من المرأة.

إذا كانت المرأة تودّ أن يجري إخصاب بيضة لها في المختبر IVF فيجب أن تُعطى حبوبا للهرمونات مدة 5 أسابيع. يمكن تعويض ذلك بحقن من الهرمونات السائلة. ستقود هذه إلى التأكّد من أنّ المرأة ستنتج أكبر عدد ممكن من البويضات، التي يمكن سحبها من الجسم. تحفّز هذه الهرمونات

المبيض لرفع مستوى هرمون الأستروجين، ممّا يسبب للمرأة أعراضًا تشمل الغثيان والانتفاخ والصداع وعدم وضوح الرؤيا ونوبات من السخونة. والأخطر من ذلك أنّه قد يسبب هذا لها التعرض لجلطات الدّم والإفراط في نشاط المبيض.

يستخدم في العادة جهاز الموجات فوق الصوتية ultrasound لمراقبة نمو بويصلة البويضة والتصاقها بجدار الرحم. ينتظر الأطباء، الذين يقومون بعمليات IVF اكتمال نمو البويصلة وتحوّلها إلى بويضة قبل أن يخدّروا المرأة من أجل سحب البويضة منها عن طريق إدخال إبرة طويلة عبر القسم العلوي من المهبل والوصول إلى المبيض وسحب البويضة ووضعها في وعاء من البِلاستِك. وبعد أن تصحو المرأة من التخدير وتستعيد وعيها تُرسل في العادة إلى بيتها للراحة. لكنّه من المتوقع أن تشعر بالتشنّج لعدة ساعات على الأقل بعد الإنتهاء من العملية. وقد يطول ذلك أحيانًا.

تتحمل النسوة الكثير من العناء وأحيانًا الخطورة أثناء سحب البويضات، ولكن الوعد في أذهانهن عن الأمومة يتجاوز هذا العناء وتلك المزعجات. ومع ذلك فلا يجعل هذا الوعد المسألة أقلّ صعوبة.

ليس الإخصاب المختبري مستحيلًا، لكنّه بالتأكيد ليس سهلا. كما أنّه يفتقر إلى المشاعر والجاذبية العاطفية والأحاسيس التي تصاحب ممارسة العملية الجنسية، ويجعله بدلًا من ذلك إجراء طبيًّا. كما يظل حدوث الحمل نتيجة العملية الجنسية مسألة مفعمة بالعاطفة. سيظل البعض منّا أكثر ثقة بعملية تطوّرت على مدى 3.8 مليون عامًا، مقارنة بما يجري في عيادات أطباء الإنجاب في المستشفيات. لكنّ المزج بين الكلفة والمنافع، سيجعل الإخصاب المختبري أكثر تنافسا مع العملية الجنسية، باعتباره الطريقة الأولى للإنجاب عند البشر، خاصّة بعد زيادة الشعور بأنّها آمنة ومتعددة الجوانب والاستعمالات.

منذ ولادة البريطانية *لويز براون* عام 1978، جرت أكثر من 8 ملايين عملية من عمليات الإخصاب المختبري ونجمت عنها ولادة أطفال لا يختلفون بشكل ملحوظ في صحتهم مقارنة بالأطفال الآخرين. في الولايات المتحدة، مثلا بلغت نسبة هؤلاء 1.5% من مجموع المواليد. أمّا في اليابان فقد ارتفعت النسبة إلى 5% [102]. لم تساعد عملية الإخصاب المختبري النسوة الأكبر سنّا ولا من يجدن صعوبة في الحمل، لكنّها ساعدت فئة جديدة من الناس بما فيهم العديد من مثليّ ومثليّات الجنس، كي يولد لهم أطفال بايولوجيون من صلبهم.

بدأت منذ مطلع الثمانينات والتسعينات خدمات الإخصاب بما فيها الإخصاب عن طريق المتبرعين وتأجير الأرحام surrogacy وتغيّر المعايير الاجتماعية، التي عبّدت الطريق أمام الكثير من المثليين والمثليات لكي يحصلوا على أطفال من صلبهم. وقد حذت بعض البلدان الأخرى حذو الولايات المتحدة. اتخذت المحكمة العليا الأمريكية عام 2015 قرارا باسم **أوبرگنل** مقابل **هَوجز** أباحت فيه زواج المثليين والمثليات، باعتباره حقا ضمنه الدستور لهم. لقد سهّل ذلك بروز ظاهرة مثل هذا الزواج وتكوين مثل هذه الأسر.

في ضوء تكنولوجيا اليوم، يستطيع الرجل المثلي، الذي يرغب أن يكون له طفل أن يجد امرأة تتبرّع ببويضة يمكن إخصابها بواحد من حيواناته المنوية، ويمكن زرع تلك البويضة في رحم امرأة أخرى لقاء اجر معيّن. أمّا المثليات فيحتجن إلى متبرعين بالحيوانات المنوية الذكورية. وهذا يعني أنّ هؤلاء المثليين والمثليّات، الذي يشكلون نسبة 4% من مجموع السكان، حسب ما ورد في استبيان گالوپ Gallup للمثليين Gays والمثليّات Lesbians وثنائيي الجنس Bisexual والمتحوّلين جنسيّا Transgender (LGBT)، يستطيعون الحصول على أطفال، ولم يعد هذا الأمر استثنائيًّا، بل أصبح هو المعيار[103]. وكما في بعض الميادين الأخرى، أصبح مجتمع (LGBT) في طليعة المدافعين عن التحوّلات في المجتمع.

ولكي تصبح عملية الإخصاب المختبري أكثر شيوعا بين النساء لأغراض الحمل، فإنّ هذا النوع من التفكير المختلف حول موضوع الإنجاب، يتطلب الانتشار ليكون هو التيار السائد. ويحتاج هذا النموذج أن يكون أكثر سهولة وأقلّ كلفة وأخف ألما على النساء. وهذه جميعا قضايا تسير نحو الهدف السليم.

* * *

تصوّري أنّكِ تريدين طفلا ثالثا في عام 2045، أي بعد حقبة من ولادة طفلك الثاني. إنّكِ الآن مديرة تنفيذية مشغولة وكلّ لحظة في يومكِ لها حسابها. أنت فخورة بأصلك وأصل شريكك، وأنتما تريدان طفلًا من صلبكما 100%. إنّ تجربتك الإيجابية عموما في اختيار صفات طفلك الثاني تؤكّد فطرتك بالاعتماد على البيانات. وعليه، فإنّك هذه المرة ليست لديك أيّة تحفظات في اختيار جنينك قبل زرعه. وسيحمل الجينات، التي تريدينها إلى اقصى درجة ممكنة، في ضوء المعلومات التفصيلية المتوفرة لديكِ. أنت ترغبين في الحمل لأنّك تريدين أن تتأكدي أنّ طفلك سيلقى العناية وهو في رحمكِ، رغم أنّ العديد من النسوة الأخريات يفضلن «استئجار» أرحام نسوة أخريات، أو

أنّ البعض يلجأن إلى استخدام أرحام اصطناعية synthetic wombs. لكنّكِ ما زلتِ تجعلين الأمر سهلًا عليكِ إلى أقصى قدر ممكن، ما دام سيحقق لكِ اقصى الفوائد. لحسنِ حظّك، لا تحتاجين أن يسحبوا منكِ بويضة وأنّك تستطيعين اختراق عملية الإنجاب بطريقة ما كنتِ تتصوّرينها من قبل.

كنتِ على رأس اجتماع صباحي مع العاملين بإمرتك، حين اقتربت مساعدة لكِ ووضعت على ذراعكِ جهاز سحب الدم الذي يعمل باللمس Touch Activated Phlebotomy ومختصرا TAP. لم تشعري بشيء وتابعت حديثك، في حين استطاع الجهاز سحب 100 ملمترا من دمكِ، أي ما يعادل ملعقة شاي، وجمعها في وعاء صغير. لقد حققتِ في تلك اللحظة أكثر ممّا كان ممكنا باستعمال الأجهزة القديمة لسحب البويضات. إنّ جهاز TAP حصيلة عجيبة لمخيلة الناس العاملين في مجالات التقدم العلمي. وهذا هو ما كشف السرّ العجيب للخلايا الجذعية Stem Cells.

الإنجاز الجبار الذي حققه العالم *سپلنزاني*، اظهر أنّ الإنجاب يكمن في إخصاب الحيوان المنوي الذكوري لبويضة الأنثى. وإذا كان كلّ منّا قد بدأ على شكل بويضة/خلية واحدة ثم نمت وتقاسمت إلى أنواع من الخلايا، التي تكوّن الإنسان، فإنّه من المنطق القول إنّ تلك الخلايا المبكرة يجب أن تكون قادرة على النمو من داخل الخلية ذاتها، شيء يشبه نمو النبتة من البذرة. والسؤال هو كيف؟

لم يكن عرضا أنّه حين وصف العالم الروسي *ألگزندَر ماكسِموف* في عام 1908، أنّ سلف الخلايا باستطاعتها أن تنمو إلى أيّة صيغة، ولجأ إلى التشبيه بالنباتات. وفي السنوات التالية ازدادت معرفة العلماء بشكل أكبر حول تلك الخلايا الجذعية Stem Cells، التي تنمو لتكوّن أصنافًا عديدة من الخلايا التي تخلق الكائن، وتستمر بعد ذلك بشكل خاص في مواصلة تجديد كلّ صنف من الخلايا للمحافظة على استمرار نمو ذلك الكائن. إنّ الخلايا الجذعية هي البذور التي تصبح فيما بعد نبتات ذات جذور وسيقان وأغصان وأوراق.

جاهد العلماء لحقب عديدة وهم يحاولون معرفة وتحديد هوية وعزل الخلايا الجذعية. في عام 1981، استطاع الباحثان البريطانيان *مارتِن إيڤَنز* و*ماثيو كوفمَن* من استخراج هذه الخلايا لأوّل مرّة من جنين فأرة. وهي عملية تمّ تطبيقها على الأجنة البشرية من قبل فريقين من الباحثين الأمريكيين بعد مرور 17 عامًا. لقد أطلق اكتشاف الخلايا الجذعية من الأجنة البشرية موجة عالية من التوقعات بين العلماء أولًا، وبين الرأي العام فيما بعد.

في عام 1998 صرّح عالم نمو الأحياء في جامعة وِسكونسُن، جَمي تومسُن وأستاذ جامعة جونز هوپكِنز، جون گير*هارت*، وهما باحثان متخصصان في الخلايا الجذعية في الأجنّة البشرية، لمحطة تلفزيون سي أن أن بأنّ هناك معجزات يمكن أن تنطلق من الخلايا الجذعية. ذكر *تومسُن* وگير*هارت* أنّه يمكن أنّ تُستعمل في إصلاح إصابات العمود الفقري وعضلة القلب إثر النوبات القلبية ومعالجة الأجهزة المصابة بالتلف نتيجة المرض أو التعرّض للإشعاعات النووية. كما يمكن أن تُستعمل لزيادة إنتاج الأنسولين في الجسم لمعاجة مرض السكّري، كما معالجة خلايا الدماغ المصابة، التي ينجم عنها مرض شلل الرعاش، وتغيير جينات خلايا الدم لمقاومة الإصابة بمرض الإيدز HIV [104].

إنّ فكرة استخدام الخلايا الجذعية المُستخلصة من الأجنة البشرية لتحقيق هذا النوع من المعجزات قد ابهج العديد حول العالم، لكنّه افزع البعض في نفس الوقت. إنّ الخلايا الجذعية الجنينية، كما يدل اسمها، مأخوذة من الأجنة. وهذه الأجنة، في كافة الحالات تقريبا، لم تُزرع بعد في عيادات الإنجاب. بالنسبة لأولئك الذين يعتبرون أنّ الحياة تبدأ لحظ تلقيح الحيمن للبويضة، فإنّ تلك المجموعة من الأجنة في مراحلها الأولى وهي في أوعية المختبر، بشر. إذا كان الأمر كذلك، فإنّ استخدام هذه الأجنة في بحوث لإيجاد علاجات تنقذ الحياة، مسألة لا تقلّ عن القتل. وهذا هو الموضوع، الذي دفع **منظمة الحق في الحياة** الأمريكية right-to-life لتشرع أسلحتها ضدّ بيولوجيا الخلايا الجذعية.

> *«فجأة ظهرت الخلايا الجذعية في كلّ مكان». كان هذا عنوان مقالة ظهرت في مجلة تايم في شهر يوليو من عام 2001.*
>
> *مضى زمن كانت فيه هذه القضايا في عمق مجالات الطب الباطني، حيث يُنظر لتلك التجمعات المجهرية. أمّا الآن فقد وجدت طريقها إلى الصفحات الأولى من جرائد البلاد... وأصبحت قضية اليوم السياسية في واشنطن. يهدّد النقاش الدائر حول هذه الخلايا بتخريب التحالفات التقليدية، وتحدي فهمنا للحياة ويجعل البعض من معارضي عمليات الإجهاض في موقف غير مريح. هل يمكن حماية الحدود الصارمة التي تتعلق «بحرمة الحياة» ونستطيع في ذات الوقت الحصول على تلك الخلايا لمساعدة الأحياء بيننا؟... إن بعض مؤيدي حق الحياة pro-life قد شبّهوا استخدام هذه الخلايا لأغراض البحث، بما قام به الأطباء النازيون خلال*

الحرب العالمية الثانية. لكنّ هذه الخلايا تبشّر بوعد كبير لملايين المرضى وأسرهم التـي تعتنـي بهم[105].

وجد الرئيس الأمريكي *بُش الابن* نفسه أسيرًا بين معسكري التقدم العلمي من جهة وقاعدته من المحافظين من جهة أخرى. أضف إلى ذلك وجهات النظر المتباينة في تشكيلة وزارته. وعليه أقدم على شطر الفروق بين هؤلاء بتاريخ 9 أغسطس من عام 2001 حين اعلن قطع المعونة المالية من الحكومة المركزية لكافة أنواع البحوث التي تخصّ الخلايا الجذعية الجنينية البشرية المبكرة الجديدة في كافة مجالاتها. وعنى هذا أنّ حوالى 71 مجالًا من تلك البحوث مصنّف الآن وفق معايير الحكومة الأمريكية، بأنّه يمكنها أن تستمر فقط بالعينات المتوفرة لديها في حينه. لا جديد بعدها. إنّ أيّ باحث يستخدم خلايا جذعية بشرية جديدة سوف لن يتلقى تمويلا من الحكومة، ناهيك عن بعض التبعات الأخرى.

تشبه خطوة الإدارة الأمريكية قصة النبي سليمان. لم تسعد أيّ جانب. بالنسبة لمناصري بحوث الخلايا الجذعية، فإنّ حصر العدد بما يتوفر حاليًّا فقط، سيؤخر البحوث الأساسية، التي من المتوقع أن تحسّن وتنقذ حياة عدد من الناس لا يمكن حصرهم. بالنسبة للعديد من المعارضين، فإنّ الاستمرار بهذه البحوث يخالف حرمة الحياة ويُعتبر رِجسًا. انتقل بعض الباحثين إلى سنغافورة والمملكة المتحدة، لكي يواصلوا بحوثهم في ظلّ تقييدات محدودة قليلة. ومن جهة أخرى، قام الناشطون في نو يورك وكاليفورنيا بمواجهة إدارة *بُش* والتقييدات التي فرضتها بتأسيس منظمات على مستوى الولايات مدعومة بتمويل جيّد كي تستمر في إجراء بحوثها. منها **مؤسسة نو يورك لبحوث الخلايا الجذعية ومعهد كاليفورنيا للطب التجديدي** Regenerative Medicine.

غير أنّ الاكتشاف، الذي توصّل إليه معهد للبحوث في اليابان قد فتح الباب على مصراعيه في مجالات بحوث الخلايا الجذعية، وحوّل مفهومنا عن اللدونة البايولوجية biological plasticity.

* * *

يعتقد الكثيرون منّا أنّ البايولوجيا عملية تتحرّك قدما بخط مستقيم. نبدأ بخلية واحدة تنمو لتصبح كائنا معقدا يولد ويكبر ثمّ يموت. لكنّ الطبيعة تخفي خُدعها الظاهرة للعيان. ليس بمقدورنا

أن نصنع جبنة طازجة من حليب قديم، لكنّه يبدو طبيعيا تماما أمامنا أن شخصا في سنّ 30 يمكن أن يكون له طفل عمره صفر وليس 30 أو 60 عامًا. ومن الواضح أنّ الخلايا لها طريقتها في إعادة ضبط عملية التوقيت.

فكّر أستاذ علم الأحياء في جامعة أكسفُرد *جون گوردُن* في خمسينات القرن الماضي، بأنّ بعض الحيوانات تبدو وكأنّها تجدّد نفسها. تساءل إن كانت خلية خاصة، ولِنقلْ، خلية جلد أو كبد أو غيرها من خلايا الشخص البالغ قد تحتفظ بقدرة كافية بالعودة إلى حالة ما قبل التمييز المسبق. ولكي يختبر هذه الفرضيات وضع نواة بويضة ضفدعة محلّ أخرى مأخوذة من ضفدعة أخرى. وبعد إجراء تجارب على سلسلة من هذه البيوض «المغشوشة» لم يحصل في البداية أيّ شيء بعد أن تمّ تلقيحها بحيامن ضفدع. لكنّ المعجزة حدثت حين نمت بعض البويضات وتحوّلت إلى ضفادع صغيرة. لقد أثبت *گوردُن* أنّ أيّة خلية ناضجة، تحت ظروف مناسبة، لها القدرة الفطرية أن تعود خلال عملية النمو كي تصبح مساوية لأجنة الخلايا الجذعية.

فتح اكتشاف *گوردُن*، الذي لا يُصدّق، آفاق البحوث حول إمكانية تصرف الخلايا مثلما حدث في قصة **بِنجامِن بُتِن** (الذي ولد بمعالم شيخ عجوز وبدأ ينمو بشكل عكسي نحو مرحلة الطفولة- المترجم)، التي لم تضع مخططًا لكيفية حدوث ذلك. دفع هذا الأمر *شينا ياماناكا*، وهو ياباني متخصص في الطبّ البيطري، للبحث عن ذلك المخطط.

نشأ *ياماناكا* في مدينة أوساكا، وكان مولعا منذ صغره بتفكيك أجزاء الساعات وأجهزة الراديو، ثمّ يعيد تركيبها ثانية لتعود إلى العمل. بدأ حياته المهنية كجرّاح في الطب البيطري، ولطالما شعر بالإحباط من عدم قدرته على معالجة بعض أمراض مرضاه. وهذا هو ما دفعه ليبحث عن معرفة عميقة في بايولوجيا الخلايا. عاد إلى مقاعد الدراسة وحصل على درجة دكتوراه في علم الصيدلة، وتخصص في علم وراثة الفئران. حين سمع بما كان يقوم به جَيمي تومسُن حول توليد الخلايا الجذعية البشرية، وما توصّل إليه *جون گوردُن* كيف أنّ نوى الحمض النووي DNA يمكن إعادة برمجتها، قرّر *ياماناكا* أن يوجّه جهده لفكّ رموز القدرات الخفية للخلايا.

بعد سنوات من البحث المضني، اكتشف *ياماناكا* وفريقه في عام 2006 أنّ البروتينات المشفرة في 4 «جينات رئيسية» يمكنها أن تعيد عقارب الساعة إلى الوراء وتحويل أيّة خلية ناضجة إلى خلية جذعية أصلية. وكما تميّز الخلايا الجذعية نفسها وهي تنمو بمرور الوقت لتكوّن الجلد

والدم والكبد والقلب وغيرها من أصناف خلايا الأنسان البالغ عددها 200 خلية، فإنّ **معامل ياماناكا** يمكنها أن تعيد أيّ جلد أو دم أو كبد أو غيرها من الخلايا إلى ما يعادلها من الخلايا الجذعية الجنينية. أطلق عليها اسم **الخلايا الجذعية متعددة القدرات** induced Pluripotent Stems Cells أو اختصارا iPSCs. لقد استطاع *ياماناكا* أن يفكّك الخلية ويكشف كيف أنّ الساعة البايولوجية يمكن أن تعود إلى الوراء.

نال *ياماناكا* و*گوردُن* جائزة نوبل عام 2012 لاكتشافاتهما، التي يمكن أن تحدث ثورة في علم الأحياء، بما فيها قدرة الإنسان على خلق البويضات.

في عام 2012 قام العالمان اليابانيان المتخصصان في بايولوجيا الخلايا وهما *كاتسوهيكو هِياشي* و*ممِتنَوري سَأيتو*، باستخدام **معامل ياماناكا** لإعادة برمجة خلايا جلد فأر بالغ في وعاء واستخلصا منها خلايا iPSCs، ثمّ أضافا مزيدًا من المواد الكيمياوية لتحويل تلك الخلايا الجذعية إلى خلايا بويضات ملقحة بالحيامن، على غرار الأسلاف. وبعد أن وضعا نفس الخلية الاصطناعية في مبيض عدد من الفئران، نمت تلك الخلايا وتحولت إلى بويضات. وحين استعملوا الحيوانات المنوية المستحدثة خلال التجارب على الفئران، نمت تلك الخلايا وتحولت إلى حيوانات منوية ذكورية. استخدمت البويضات والحيامن في عملية إنجاب مختبري للفئران IVF، فكانت النتيجة ولادة فئران صغيرة (مفردها درص) وهي تتمتع بصحة جيدة. بالرغم من قلة نسب النجاح في توليد خلايا البويضات والحيامن الذكورية iPSCs وإخضاعها لعملية الإنجاب المختبري، فإنّ التجربة مع ذلك كانت إنجازًا مذهلًا[106]. لقد جرى استخدام خلايا الجلد لتوليد فئران صحيحة البنية.

بعد عامين، أي في عام 2014، استطاع عالمان، بريطاني وإسرائيلي، من استنساخ التجربة، لكنّهما استخدما بدل ذلك بويضات وحيامن مستخلصة من جلد البشر البالغين[107]. كانت نسبة النجاح منخفضة للغاية أيضًا، في شهر سبتمبر من عام 2018، أعلن *سَأيتو* وفريقه أنّهم استخلصوا خلايا البويضة من دم البشر وحضنوها في مبايض صغيرة مستخلصة من أجنة الفئران. بالرغم من أنّ خلايا هذه البويضات البشرية المُستحثّة Induced، لم تكن ناضجة للإنجاب البشري، إلّا أنّ التوصّل إلى تلك النقطة جعلها أمرا قريب المنال. مع أنّ العدد غير معروف فيما يخصّ هذه المحاولات غير الآمنة للبشر في المستقبل القريب، لكنّ العلم يتحسّن بسرعة والتطبيقات كبيرة لمستقبل الإنجاب البشري (ومنها كذلك تجربتكِ في عيادة الأنجاب عام 2045)[108].

إنّ معدل البويضات التي تُستخلص في كل مرّة من المرأة يصل إلى 15 بويضة مستعدة للإخصاب. نظرا لأنّ بعض البويضات لا تصلح لتلك العملية، أو لأنّ الأجنة فيها مشكلة لسبب أو لآخر، يجعل هذا نسبة الاختزال عالية في عمليات الإخصاب المختبري IVF. وعليه فإنّ عدد الأجنّة في المرحلة المبكرة التي تكون فيها مرشحة للاختيار، أقلّ بكثير من 15 بويضة. غير أنّ تكنولوجيا الخلايا الجذعية المُستحثّة يمكن أن تضاعف العدد بشكل كبير.

تحتوي كمية الدّم البالغة 100 ملمترا، التي سحبتها المساعدة من ذراعك خلال اجتماعك الصباحي على ما يقارب من 500 مليون من خلايا الدم أحادية النواة PBMCs. وكل واحدة من هذه الخلايا يمكن تحويلها وفق **معامل ياماناكا** إلى خلايا جذعية مُستحثّة. وباستخدام هذه الطريقة طوّر *هِياشي* و*سَأيتو* كلّ واحدة من ملايين الخلايا الجذعية إلى بصيلة بويضة تحمل الصفات السلفية، وفي النهاية تنمو لتكون بويضات.

يتوفر الآن مئات أو آلاف وحتى الملايين من البويضات. كما أنّ عدد خلايا الحيوانات المنوية الذكورية متوفر بمئات الملايين. ولكن حتى لو كانت الحيامن الذكورية غير متوفرة أو غير ناضجة للإخصاب، فإنّ بالإمكان إعادة العملية لتوليد تلك الخلايا الذكورية من خلايا iPS. وحين توضع الحيامن والبويضات في وعاء واحد وفق درجة الحرارة المطلوبة، أو إذا حُقنت الخلايا الذكورية في البويضات، فسيصبح لديك بدلا من 15 بويضة ملقحة، المئات وربّما الآلاف منها. وهنا يستطيع المختبر استعمال جهاز المسح المتقدم لعزل البويضات ذات الشكل المثالي والصفات الوراثية، التي يعمل المتخصصون في علم الأجنة بمهارة على تعديلها/تحسينها يدويا في عيادات الإخصاب هذه الأيام. الخطوة التالي هي السماح لتلك البويضات الملقحة أن تنمو لمدة 5- 7 أيام. تحتوي كلّ منها على ما يقارب 100 خلية. الخطوة الثالثة هي سحب 5 خلايا من كلّ كيس أريمي blastocyst لإجراء عملية التسلسل الجينومي.

نظرا لأنّ كلفة عملية إجراء التسلسل الجينومي ستصبح شيئًا لا يُذكر، فإنّ هذا العملية ستكون أيضًا سهلة وسريعة. ونظرا لأنّ التسلسل الجينومي سيكون على المستوى العالمي ومصحوبا بالتقدم التكنولوجي في ميدان الطبّ وبالتالي توفر سجلات حياة الأفراد لأغراض الدراسة والتحليل، ستقود المعلومات إلى كشف المزيد من أسرار الجينوم البشري، وأنّ المعلومات، التي

ستوفرها هذه المئات من الأجنة، ستكون مدهشة للغاية في ضوء مقاييس أيامنا هذه. ستكون في النهاية عنصرا اعتياديا في عملية الإنجاب في حينها، كما ستجدين ذلك في تجربتك عام 2045.

خلال الأسابيع الماضية ومنذ أخِذت منكِ عينة الدم، مضيتِ تعيشين حياتك بشكل اعتيادي. غير أنّ عيّنة دمكِ قد مرّت بمرحلة تحوّل metamorphosis. تمت الاستعانة **بمعامل ياماناكا** في العيادة لتحويل خلايا دمكِ إلى خلايا جذعية مُحفّزَة iPSCs، ثمّ تحوّلت هذه الخلايا إلى بويضات تحمل صفات أسلافكِ، كما لو كان قد جرى ذلك داخل جسمِكِ، حين اجروا لكِ عملية الإخصاب المختبري قبل 10 سنوات. الفرق أنّه في هذه الحالة قد خلقوا عددا كبيرا من البويضات خارج جسمِكِ. وهو أمر لا تقدرين عليه أصلًا.

بدأتِ تشعرين بمزيد من الإثارة. كنتِ تتحدثين منذ سنوات عن إمكانية إنجاب طفل ثالث، وها أنّه قد حان اليوم المطلوب.

كلّ هذه قصة افتراضية، لكي نختار من نراه شريكا لكِ ونعطيه دورا في القصة. يمكن أن يكون زوجكِ ومن المحتمل أن يكون أيّ شخص آخر. يمكننا أن نتصور وجود رجلين، نأخذ الحيمن الذكوري من دمّ أحدهما وبويضة مُستحثّة من دمّ الرجل الآخر. ويمكن أن نحصل على البويضة والحيمن من نفس الرجل، الذي سيكون بمثابة الأمّ والأب للطفل المولود. وهذا سيناريو يبدو أنّه ممكن أكثر من أيّ وقت مضى. لقد استطاع العلماء توليد فئران صغيرة أخِذت البويضات والحيامن التي تكونوا منها من فأرين ذكرين. في شهر نوفمبر من عام 2018 أعلن علماء صينيون أنّهم حصلوا بنجاح وكفاءة على خلايا جذعية من بويضة فأرة وحوّلوها إلى خلايا ذكورية واستخدمت لإخصاب بويضة أخِذت من فأرة أخرى، فولدت فئران صغيرة نصف جيناتها من الفأرة الأولى والنصف الآخر من الفأرة الثانية. تشير البحوث الحديثة إلى الإمكانية الواضحة للحصول على بويضات باستعمال مبيض مطبوع ثلاثي الأبعاد 3D printed ovary يمكن ملؤه بالبويصلات follicles ومن ثم زرعه في جسد رجل أو امرأة متحولة جنسيا transgender.

لا تحاولي شراء ملابس الحمل بعد، لكنّه بالتأكيد أنّ علم الأحياء ما عاد كما كان عليه من قبلُ.

جلست في صالة الانتظار تترقبين أن ينادوا عليكِ.

أعادوا تجديد طلاء تلك الصالة منذ زرتيها قبل حقبة. وحين اتخذت مكانك على المقعد الوثير كان فوق رأسك مصباح يصدر عنه ضوء خافت وتناهي إلى مسامعك صوت موسيقى ناعمة ينساب بهدوء. شعرت بالأمن في الخيار، الذي أقدمتِ عليه بأن تعودي إلى نفس العيادة، التي أصبحت الآن جزء من مؤسسة رأسمالها حوالى 50 بليون دولارًا، وتقوم بتوفير الخدمات والتكنولوجيا الأمريكية المساعدة في عملية الإنجاب.

فُتح الباب وتقدّمت الطبيبة لترحب بكِ. تحولت جدران مكتبها إلى شاشات عريضة تعطي الانطباع بأنّ الشخص جالس مرتخيا عند طاولة على حافة الماء في شاطئ جميل للغاية. بعث صوت الأمواج الخفيفة في نفسِكِ الراحة، التي دغدغت مشاعركِ.

من الواضح أنّكِ قدّرت حقّ التقدير هذا الجوّ الذي هُيء لكِ، غير أنّ ذهنكِ كان مشغولا بقضايا أكبر. لقد تعاملتِ مع هذه العملية العلمية للإنجاب على مدى حقبتين، ولكِ منها طفلان رائعان. طفلتك الأولى النشطة البالغة من العمر 20 عامًا وتتمتع بصحة فائقة، قد دخلت الكلية ذلك العام. أمّا ابنك الذكي ذو القدرات الفنية العالية والمتفائل دائمًا وهو في سن 10 سنوات، فلا يزال يعيش معكِ في البيت. لا تحتاجين هذه المرة إلى أيّة محاولة لإقناعكِ. قلتِ للطبيبة، «حسنًا».

ردّت الطبيبة، «دعينا نمضي دون تأخير. وصلت عيّنة دمكِ قبل أسبوع فوضعناها في أنابيب زجاج في جهاز الطرد المركزي Centrifuge كي نستخلص الخلايا التي نريدها ثمّ أعدنا برمجتها لتصبح خلايا جذعية استخدمناها لخلق خلايا لبويضاتك. قررنا أن نلقح منها 1000 بويضة اختار منها الجهاز 100 بويضة. تركناها تنمو لتصبح أجنة في أكياس أريمية خلال فترة 6 أيام. ثمّ أخذنا 5 خلايا من كلّ كيس جنيني لأغراض التسلسل الجينومي والنتيجة هي...».

كانت تلك هي اللحظة، التي انتظرتِها. أمسَكتِ أنفاسَكِ.

وفجأة اختفت مشاهد الساحل وكست الجدران شبكة من الأرقام تتفاوت من الصفر إلى 100. بدأت عيناكِ تجوبان في أرجاء المكتب ووقفت في ذهول.

قالت الطبيبة، «قد يبدو هذا مربكا بعض الشيء، لكنّ الشكل المخطط يظهر الاحتمالات التي تخصّ كلّ واحد من أجنتكِ المائة. المحور Y يمثل جيناتك خلال الفترة المبكرة اعتبارًا من صفر -

100. أمّا المحور X فيعطي النسبة المئوية المحتملة لكلّ من هذه الأجنة وما يحمله من صفات معينة، ستظهر بعد أن ينمو الجنين ويصبح شخصًا».

كان هناك العديد من الصفات المختلفة التي يعرضها المخطط الظاهر على كافة جدران مكتب الطبيبة. قلت، «هذا شيء لا يُصدّق. لقد تقدّم العلم بشكل مُذهل».

ردّت الطبيبة، «أهلًا بكِ إلى مستقبل عملية الإنجاب البشري».

تقدّمتِ وأشرت إلى العمود الذي يوجد فيه اسم مرض ألزهايمر Alzheimer وتساءلتِ، «إذن الرقم 90 يشير إلى نسبة احتمال 90% أنّ هذه الأجنة تحمل هذا المرض الذي سيظهر خلال حياة الوليد؟».

ردّت الطبيبة، «لا، كافة الأرقام النسبية تشير إلى ما نعتبره إيجابيا. إنّ 90% تعني أنّ الجنين ستكون لديه فرصة عالية في عدم الإصابة بمرض الزايهمر إذا اخترته. وعليه فإنّ كافة الأرقام العالية تشير إلى الصفات المُرادة».

«وهذا يعني أنّ صاحبه سيكون ذا قدرات عالية في العْدوِ؟».

«هذا الجين الذكوري سيكون لديه ميل وراثي أن تكون عضلاته سريعة الحركة. وبطبيعة الحال، هناك عوامل أخرى ذات العلاقة ومنها ارتفاع درجة العزيمة لديه ومواصلة التدريب وحسن التغذية والتعرض إلى نموذج شخص إيجابي، إلى آخره ممّا تتطلبه جينات من قبيل ذلك.

تفحّصتِ في رهبة ما كان على الجدران وتذكّرت ما قالته لَكِ أمّكِ وأنت صغيرة «بأنّك كاملة الأوصاف، كما أنتِ!».

قالت الطبيبة، «بودّي أن أعيد على مسامعكِ أنّهم جميعا أطفالكِ، كما لو كنتِ حملت بهم بعد ممارسة الجنس. ونفس الشيء حين جئتِ إلى عيادة الإخصاب المختبري ومررت بعملية اختيار الأجنة في آخر مرّة، حين كان عدد بويضاتك محدودا ومقتصرا على ما أنتجتِه في حينهِ. إنّنا هنا فقط زدنا من عدد الخيارات. إنّ كافة هذا الصفات، الجيد منها والخطير، هي من صنع جيناتكِ الوراثية. إنّها تعكس جيناتكِ وجينات زوجِكِ وأسلافكما جميعا، الذين يعودون إلى بلايين السنين. التغيّر موضوع يصعب علينا مواجهته، لكنّ السؤال النهائي، الذي يسأله الناس هو إنْ كانوا

يشعرون براحة أكثر مع توفر هذه الخيارات، أو أنّه كان من الأفضل أن يتركوا ذلك للصدفة لكي تلعب دورها، كما فعلت في السابق؟».

سألت نفسَكِ، «هل أنّني أبغي حقيقة إلى تحقيق درجة عالية متكاملة؟» قلتِ ذلك وأنتِ لا زلتِ تتصارعين مع فكرة أنّ سحر الحياة يمكن أن يُخفّض ليصبح سلسلة من الأرقام والنسب في مخطط توضيحي.

«الطبيعة ليست حمقاء»، علقت الطبيبة بشكل ينمّ عن التفكير. ثمّ أضافت، «ليس التطور عشوائيا، أنّه يقدّم لنا شيئًا جديدا بمرور السنوات. وتبدو مثل هذه الأشياء في أيامنا الحالية، ليست بذات أهمية. ومع ذلك يجب أن نتعامل مع كلّ هذا بمستوى من التواضع.

نظرتِ من حولكِ إلى الأرقام المتتالية فلم تشاهدي فيها تواضعا. هناك نسبة مقدارها 10% من بين أجنة الموظفين العاملين معك لن تُصاب بمرض السكّري من الصنف1، وأنّ نسبة 20% لن تصاب بمرض ألزهايمر. هناك أمر خطأ. اعتقدتِ دائمًا أنّ الناس الذين يرثون مشاكل صحية يختلفون عن غيرهم. فالبعض ممّن يعانون من مرض التوحّد Autism قد تكون لديهم قدرات تفوق قدرات من نسميهم الأطفال العاديين. ماذا يعني ذلك حين أومأتِ برأسكِ لحماية طفلكِ من هذا المرض وأعراضه؟

لكنّكِ أيضًا أدركتِ أنّ ما على تلك الجدران ليس أرقامًا. أغلقتِ عينيكِ وتصورت أحفادك وهو يمسكون بيدي طفلتكِ الثالثة، وكانت طاقتها الفكرية تتدهور نتيجة إصابتها بمرض ألزهايمر، أو أنكّ كنت تسكبين الدموع بحرارة في المقبرة أثناء مراسيم دفنها وهي في عمر مبكّر. هل يمكن لكِ أن تقامري بقدر أطفالكِ وإهمال اختيار الحالات الصحية لهم؟ هل يمكنك أن تتجاهلي إعطاء طفلك أفضل الإمكانات الوراثية، التي حملتِها أنتِ وزوجك إلى اقصى قدر ممكن؟ إذا كانت هذه غطرسة من جانبِكِ، فيجب وضعها جانبا. سألتِ الطبيبة، «ما هي الخطوة التالية؟».

مالت الطبيبة قائلة، «أولًا، يجب أن نستبعد كافة الجينات التي يمكن أن تحمل أمراضا رئيسية. وهذا يعني من يقع منها في عمود الأمراض من صفر إلى 50. مع توفر هذا العدد الممكن من الاختيارات، لماذا تختارين أيّة جينات متوقع لها أن تعاني من الأمراض؟».

تذكّرتِ هنا الكاتب *كافكا* والفنان *فان خُوخ*. «وماذا بعد ذلك؟».

«هناك الكثير من الصفات التي تتأثر بطريقة أو بأخرى بالجينات. تقيس اللوغارتيمات في هذا التخطط كلّ صفة بمستوى ثقتنا بأهمية العوامل الوراثية العائدة لها. بالنسبة للون الشعر والعينين، مثلا، توجد نسبة ثقة عالية تصل إلى 100% أنّ الجينات تتحكّم بنتائج الصفات. أمّا بالنسبة إلى الصفات الأخرى، مثل الاستعداد الموسيقي، فإنّ معدل الثقة يصل إلى 50% بأنّ الجنات لدينا ذات تأثير».

«أين سيتركنا ذلك؟».

استمرت الطبيبة تشرح، «يجب أن تتخذي الخيارات الصعبة ثمّ ترتّبيها حسب الأولوية. إذا اخترت كلّ شيء فهذا نوع من اختيار لا شيء. مثلًا، إذا كان العطف مهما جدا بالنسبة لكِ فيجب أن تضعيه في أعلى القائمة. إذا كانتِ القدرة على العْدو في سباقات الماراثون لا تعنيكِ كثيرا، فيجب أن تضعي هذا الاختيار في اسفل القائمة، حتى لا تحرّفي النتائج. هل تتابعين ما أقول؟».

لم تردّي على السؤال، لأنّ ذهنكِ مشغول بمدى اختيارات المستقبل الواسعة والمعروضة أمامك على الجدران. أخذتِ نفسا عميقا ثم قلتِ، «هل نبدأ؟».

عادت بكِ الذاكرة إلى الاختيارات، التي قرّرتها الإنسانية من قبل.

* * *

إذا أردنا أن نفهم إلى أيّ حدّ أخذنا موضوع الانتقاء الوراثي، فما علينا إلّا النظر إلى ما موجود في ثلاجاتنا من الأطعمة.

تضع الدجاجة البرية بيضة واحدة في الشهر لأسباب جيدة. وكنوع من الكائنات يختلف عن سمك السلمون، فإنّ الدجاجة البرية ترعى صغارها ولا تستطيع أن تربي أكثر من طاقتها. إنّ عملية الإنجاب تتطلب الكثير من الطاقة. وعليه فإنّ طرح المزيد من البيض يضع على الدجاج البري مزيدا من الضغط لتأمين الغذاء وتوفيره بشكل دائم. كما أنّ وضع المزيد من البيض يجعل الدجاج البري أكثر عرضة للحيوانات المفترسة. فالدجاجات البرية الناضجة، التي تضع كلّ منها بيضة واحدة في الشهر مثلت نوعا من قانون التوازن الطبيعي الذي فرضته ضرورة التطور على مدى ملايين السنين.

قبل ما يقرب من 8 آلاف عامًا تقريبا قام الإنسان بتدجين نوع من الدجاج في منطقة ما من آسيا، من الذي كان يعيش في الغابات، والمسمّى Gallus Gallus. لم يتطلب الأمر عقلا شديد الانتباه للتفاصيل كما كان يمتلك گريگُر مَندِل ولا شهادة الدكتوراه في علم الوراثة، بل تطلب من أسلافنا مراقبة أكثر الأصناف من الدجاج، الذي بدأوا بتدجينه، يضع بيضا أكثر فقاموا بتكثيره. لم يتطلب الأمر زيارة عيادة الإنجاب المختبري من قبل الفلاحين لكي يربوا الدجاج، الذي يضع بيضا أكثر. وعليه ودون الحاجة إلى الاطّلاع العلمي، توصّل أجدادنا إلى التربية الانتقائية selective breeding، لتوسيع توفير الصفات المطلوبة على مدى ملايين السنوات من التطور.

يستهلك كلّ أمريكي في المعدل ما مقداره 268 بيضة سنويًّا، مِمّا يعني استهلاك 87 بليون بيضة سنويا في الولايات المتحدة. وينتج هذا الكم الهائل من البيض 279 مليون دجاجة تضع في المعدل بيضة واحدة في اليوم. وعلى المستوى العالمي، يتمّ استهلاك 1.2 ترِليون بيضة في كلّ عام تضعها 50 بليون دجاجة مدجّنة. لقد اعتقد البعض أنّ وجود هذا العدد الهائل من حقول تربية الدجاج لإنتاج البيض مسألة خطيرة وإزعاج قذر.

لو تصوّرنا أنّ هذه الدجاجات المدجنة تضع بيضا بنفس المعدل، الذي كان في زمن أسلافنا حين بدأوا عملية التدجين. فبدلًا من 50 بليون دجاجة موزعة على حقول حول العالم، سنحتاج إلى 775 بليون دجاجة. تصوّر ماذا سيشعر الناس؟ ستصبح الأرض كوكبا للدجاج!

نظرا لأنّ دجاج Gallus Gallus الوحشي لا يزال يوجد في غابات جنوب شرق آسيا، فيمكن عقد مقارنة بين الدجاج المُدجن وأسلافه الوحشية. يمكن أن تجري هذه المقارنة بنفس السهولة بين الكلاب المدجنة وأسلافها من الذئاب. إضافة إلى وضع المزيد من البيض، فإنّ الدجاج المدجن أقلّ عدوانية وأكثر نشاطا وحركة وتطبّعا. ومقارنة بالحيوانات والنباتات المدجنة، نرى أنّ الإنسان قد اخترق بنجاح النظام البايولوجي للدجاج.

لو عدنا إلى ما قبل 8 آلاف عامًا وسألنا الأجداد الأوائل، الذين دجنوا الدجاج عن عدد البيضات التي تضعها كلّ دجاجة، لكان من الصعب عليهم القول إنّها 30 بيضة في الشهر. إنّ ذكر 30 بيضة في الشهر يبدو رقما جنونيا، يقابله القول أنّ المرأة تلد اليوم 30 طفلا خلال فترة 9 أشهر.

النقطة هنا هي أنّ النظام البايولوجي قابل للاختراق بدرجة كبيرة أكثر ممّا يبدو للعيان. إنّنا نعرف هذا عن طريق الحدس ولأنّ أشكال الحياة المعقدة حولنا تتطور من نفس أصولها. غير أنّ مثال الدجاج يقترح بأنّه حتى نظامنا البشري البايولوجي يمكن التلاعب به عن طريق الانتقاء أكثر من اعتقادنا المألوف.

لنترك الدجاج للحظة ونتأمّل كائنا حيّا آخر نريد اختراقه كي يعيش عمرا أطول ويتمتع بصحة أفضل إلى آخره من المزايا الأحسن.

الإنسان العاقل مثلك ومثلي وُلد بجسم يعيش لفترة معينة وببرمجيّات ملأى بأنواع الخلل. إنّ معظم الخلايا في أجسامنا تتغيّر بمعدّل كلّ سنتين، وحين نستمرّ في استنساخ وإعادة تجديد انفسنا من خلال العمل السحري للخلايا الجذعية، تبدأ بعض الأخطاء الصغيرة بالظهور في شفرة الجينات لخلايانا الجديدة. لا تسبب هذه في البداية لنا أيّة آلام، لأنّه توجد في أجسامنا ميكانيكية داخل كلّ خلية لإصلاح الخلل أو إيقافه من إحداث الأذى لنا. ولكن بتقادم العمر، يزداد عدد هذه الأخطاء وتقلّ في ذات الوقت قدرتنا على مقاومتها. نسمّي بعض هذه شيخوخة ونسمي الأخرى سرطانا.

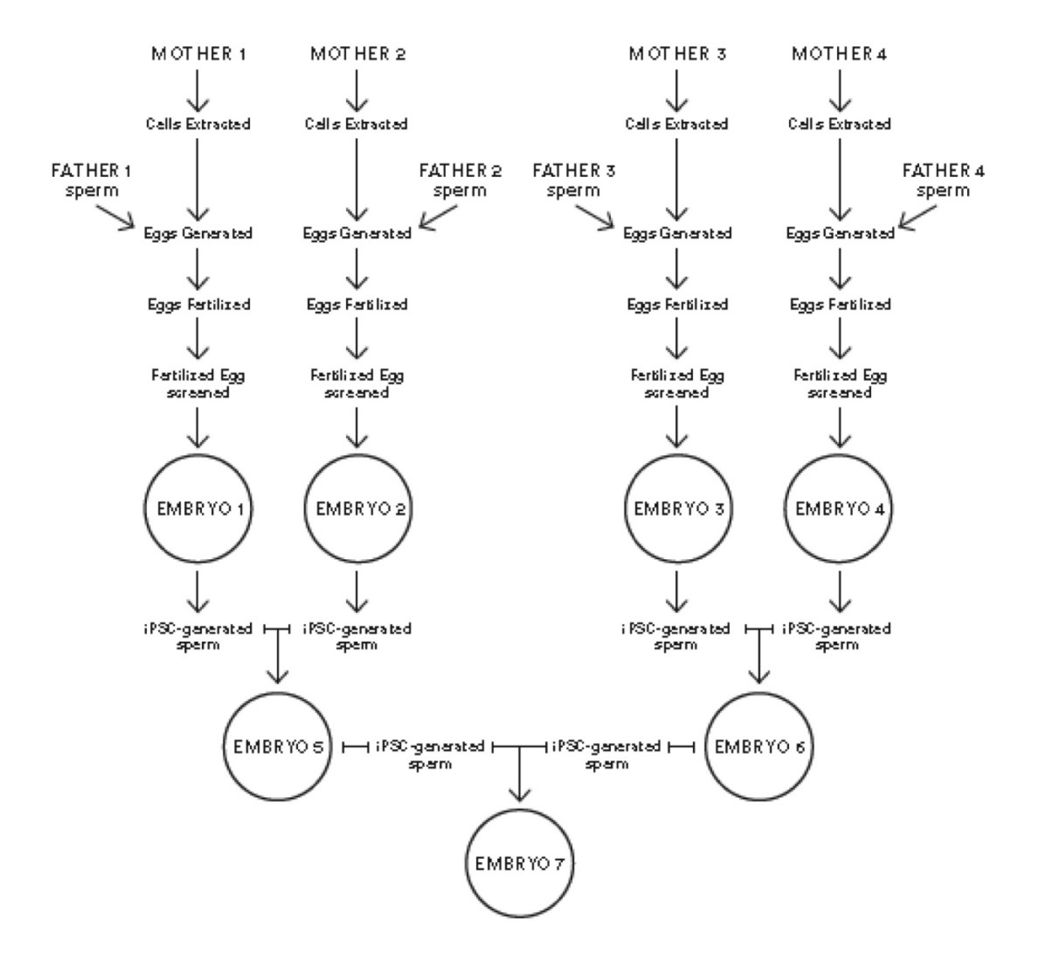
حين ازدادت معرفتنا بهذه الأخلال bugs طيلة فترة 150 عامًا الماضية، استطعنا تطوير بعض الاختراقات الأولية، التي تسمح لنا بمقاومة تلك الأخلال. هذا هو أصلًا ما نفعله في كلّ مرة نعالج فيها مرضًا وراثيًا. حين يحصل أحد على زرع خلايا نخاع عظم العمود الفقري مثلًا، يقوم الأطباء بتدمير خلايا تكوين الدم العاجزة باستعمال الإشعاعات، وزرع بدلًا منها خلايا مأخوذة من الشخص المُتبرّع. ولكن لو كان المرض وراثيا، فإنّ أطفال الشخص، الذي تمت معالجته، سيرثون المشكلة ذاتها.

ولكن لو اردنا دفع المعضلة الوراثية بإحداث تغيير جيني لاستبعاد كافة الأمراض الوراثية أو تحفيز بعض الصفات في الجسم البشري، فهل هذا مثلما قمنا بزيادة إنتاج البيض؟ ماذا لو بدأنا ننظر إلى نظامنا البايولوجي الحالي، بنفس الطريقة، التي نظر فيها أسلافنا إلى الدجاجة، التي تضع بيضة واحدة في الشهر وغيّروها لتكثر من وضع البيض. هل هذه بطبيعة الحال مسألة تشكل تحديا يمكن تجاوزه عن طريق براعة الإنسان وعملية التربية الانتقائية selective breeding؟ المشكلة الأولى، التي يجب علينا تجاوزها تتعلق بالوقت، نظرا لأنّنا نحن البشر بطيئون في عملية الإنجاب.

نأتي إلى هذا العالم ونحن في حالة عجز تام لنعتني بأنفسنا، ونقضي السنوات في رعاية العائلة والأهل نتعلم الطرق والأساليب خلال عملية نموّنا. في مرحلة مبكرة من فترة المراهقة، نبدأ بالتعرف على أنّ شيئًا مختلفًا يحدث للجنس الآخر، لكنّنا لا نعرف بالضبط ما هي طبيعته. ينتابنا الرعب حين يدرك بعضنا في سنيّ المراهقة كيف تجري الأمور لدى الجنس الآخر، لأنّنا سنحتاج في يوم ما إلى أن تكون لنا منهم ذريّة. نبدأ حينئذ مرحلة الاهتمام بمظهرنا لجلب الانتباه، وفي مرحلة متأخرة من مراهقتنا ومطلع العشرينات، يصبح الأمر عاديا. ثمّ نستمتع بوقتنا وحياتنا، لكنّنا ندرك أنّنا لا نرغب أن نركض خلف الآخر قبل النضوج، ونأمل في مقابلة عدة أشخاص قبل أن تحين ساعة الاختيار «الذكي». وأخيرا يتم الزواج في سن 27.5 عامًا بالنسبة للنساء و29.5 عامًا بالنسبة للرجال في الولايات المتحدة، وأقلّ من ذلك حول العالم. وفي عمر يقترب من 28 عامًا في أمريكا ومعدل عمر 26 عامًا حول العالم، تلد النسوة أوّل أطفالهنّ. ثمّ تبدأ العملية من جديد[109]. وهذا يعني مرور 28 عامًا حتى يولد جيل جديد. أمّا بالنسبة للدجاج فهو 6 أشهر. وهذا هو السبب الرئيسي لدفع التغييرات الجينية لدى الدجاج أسرع بكثير من عملية الإنجاب البشري.

ولكن ماذا يحدث لو اسرعنا عملية إنجاب جيل جديد من البشر وغيرنا الفترة إلى 6 أشهر كالدجاج، ليس بجعل الأطفال ينضجون بشكل أسرع ولكن بتكثير الأجنة قبل عملية الزرع وتلقيحها ببعضها البعض؟ لا شكّ أنّ مثل هذه الفكرة فكرة علمية خيالية بائسة. ولكن هل يمكن أن تصبح حقيقة خلال السنوات غير البعيدة القادمة؟

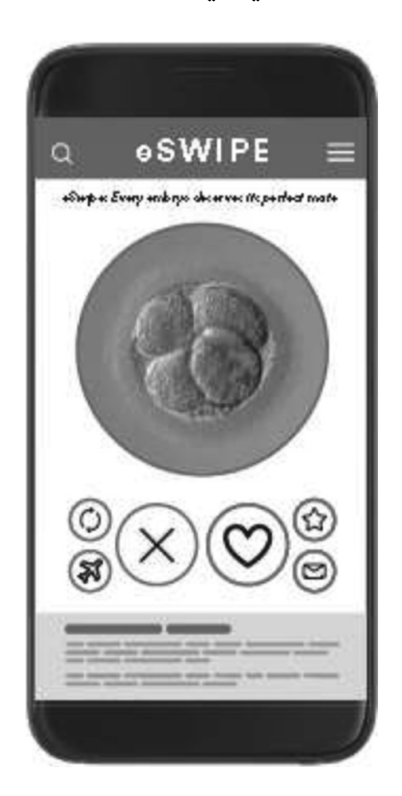
لو تصوّرنا أخذ عينة دمّ من الأم وحثثنا خلايا كريات الدم أحادية النواة لتتحول إلى خلايا جذعية، ومن ثمّ إلى مئات من البويضات. ثمّ نقوم بتلقيح تلك البويضات بالحيوانات المنوية العائدة للزوج/الأب، ثم نختار الأجنة، وفق المعايير المفضلة لديهما. وبدلا من زراعة إحدى البويضات الملقحة في رحم الأم، نقوم باستخراج بعض الخلايا منها لخلق خلايا جنسية جديدة.



دعونا نضع خلايا بويضات الجنس الجديدة جانبا لأغراض فرضية. لنتصوّر أنّ امرأة أخرى وزوجها قد مرّا بنفس التجربة، ولكن بدلا من حثّ البويضات من خلايا استخرجت من أجنتهما قبل زرعها، قد خلقا أيضًا حيوانات منوية ذكورية. لو استعملنا الحيوانات المنوية من هذه الأجنة لتلقيح بويضات المرأة الأولى. عندئذ تكون الأجنة هي الأم والأب البايولوجيين لمن يولد، ويصبح زوج الأميّن والأبويين الأصليين أجدادا. وحين تتزاوج أجنة الأحفاد مع أجنة أخرى من أمهات وآباء، يجعل هذا الآباء والأمهات الأصليين أجدادا أكبر great grandparents. يمكن من الناحية النظرية أن تستمرّ هذه العملية إلى ما نشاء، حسب ما يوضحه الشكل في أعلاه.

من الطبيعي أنّ إيجاد الجنين المناسب لجنينك وتحاشي مسألة زواج الأقارب inbreeding، يتطلب الأمر أن تكون عملية الأجنة المعدة للزرع معادلة لما يقوم به الأشخاص الناضجون حاليًّا

حين يختارون شركائهم. ربمّا سيمكن في المستقبل ابتداع تطبيق يساعد الآباء والأمّهات كي يجدوا المقابل المناسب لأجنتهم الصغيرة الثمينة وهي في حالة ما قبل الزرع، كما نرى في الشكل التالي.



ولأغراض تقنية، فإنّ هذه العملية ستستغرق 6 أشهر لتوليد جيل جديد. ويمكن تصوّر الاستمرار في استخدامها إلى ما نشاء. تصبح الأجنة البالغة من العمر 6 أشهر آباء أمهات لإنتاج جيل جديد من البشر. وعليه، فإنّ جنينك المجمّد منذ سنة (أو أطفال بعمر 3 أشهر) يمكن أن يصبحوا أجدادا. وبهذه الطريقة يمكن خلق 56 جيلا بشريا خلال فترة 28 سنة المطلوبة لخلق جيل جديد واحد، كما وضعنا الحالي. وعليه بدلا من 3.5 جيلا بشريا في القرن الواحد، يمكن الحصول على 200 جيلا في نفس الفترة. وهذا العدد من الأجيال البشرية يعادل نفس العدد الذي بدأ منذ اخترع الإنسان العجلة. ومن خلال عمليات تسريع تسلسل الجينوم وتحليل الأنظمة البايولوجية لاتخاذ القرارات بدلا من الطريقة القديمة القائمة على الخطأ والصواب، يتمّ تغيير الجيل من خلال عملية انتقاء وراثي عند البشر. قد يبدو ظهور هذا الأمر وكأنّه طيّع بالنسبة لنا، كما فعلناه مع الدجاج.

ولكن لماذا يلجأ البشر في المستقبل إلى النظر في أمر مرعب كهذا، أمر يحطّ من قيمة الإنسان ويدفعه للتعامل مع الأجنة البشرية وكأنّها تغييرات وراثية قمنا بها في ميدان تكاثر الدجاج وتربيته؟

من المحتمل ألّا يلجأ البشر إلى تجربة مغامرة من هذا القبيل، رغم أنّ هذه العملية محتملة من الناحية النظرية. غير أنّ الأجيال القادمة قد تنظر في قضية الأعداد.

* * *

لقد لاحظنا أنّ متوسط الذكاء IQ يتأثر بمئات بل ربّما بآلاف الجينات، وفي اغلب الحالات يكون هذا التأثير محدودا نسبيّا. كما رأينا أنّ ذوي معدل الذكاء العالي يعيشون عمرا أطول ويكسبون دخلا أكبر ولديهم علاقات وفاء حميمة، بخلاف ذوي معدل الذكاء المنخفض. وعليه نعرف أنّ الأولياء، توجد لديهم دوافع كي تحصل ذريتهم على إمكانات عالية من هذا المعدل، إذا كان هذا الخيار في متناولهم ويعتقدون أنّه خيار آمن.

قام أستاذا جامعة هارفرد، *كارل شُلمَن ونِك بَوسترُم* ببحث مثير للتفكير بعنوان «اختيار الأجنة لأغراض التعزيز الإدراكي»، حول رفع متوسط الذكاء الممكن اعتمادًا على مزاوجة mating الأجنّة بين بعضها البعض قبل زرعها[110].

إنّ متوسط الذكاء لدى الأطفال المولودين بالطريقة التقليدية يقوم ببساطة على ما تحمله جينات الوالدين للمولود، علمًا بأنّ مكوّنات هذا الذكاء تختلف بين الأجنة المنحدرين من نفس الوالدين، باستثناء التوائم المتطابقة. يمكننا الافتراض بأنّ مدى خيارات متوسط الذكاء سيكون أكبر بزيادة عدد الأجنة، التي يمكن توليدها. وهذا يعني أنّه بالإمكان توفر الفرصة لنا لاختيار اجنة ذات ذكاء عال قبل زرعها، إذا كان عدد الخيارات أوسع.

واعتمادًا على ما طرحه *شُلمَن وبَوسترُم* فإنّ الاختلاف في متوسط الذكاء بين الأعلى والمنخفض 12 نقطة لما يتوفر من عدد الأجنة البالغ 15 جنينا من التي تخضع لعملية الإخصاب المختبري IVF، كما يجري الآن من نفس الوالدين. ولكن إذا استعملنا الخلايا الجذعية المُستحدثّة وبدأنا بحوالى 100 بويضة، بدلًا من 10- 15 بويضة، فإنّ الفرق بين الأعلى والمنخفض لمتوسط

الذكاء المتوقع لهذه الأجنة المائة سيكون بحدود 20 نقطة. وإذا استعملنا 1000 جنينا، فإنّ الفرق بين الأعلى والمنخفض في متوسط الذكاء سيكون بحدود 25 نقطة.

قد يبدو رقم الفرق بحوالى 25 نقطة ليس مهمّا مع كلّ هذا التوليد والاختيار لما يقرب من 1000 جنينا قبل زرعها. ولكن إذا تحققنا من الأمر فإنّ هذا الاختلاف سيقود إلى خبرات حياتية مختلفة بشكل واسع. المثال على ذلك هو الفرق بين *آينشتاين* الذي كان متوسط ذكاءه IQ 160 درجة، وبين الممثل *آرنولد شورِزنِگر*، الذي له متوسط ذكاء يبلغ 135 درجة.

حين ندخل في حسابات مزاوجة الأجنة التي نختارها، فإنّ الأرقام تبدو مذهلة. قدّر شُلمَن وبَوسترُم أنّ توليد 5 أجيال من الأجنة، التي نختارها بسبب معدل ذكاءها العالي من بين 10 أمواج، سيجعل الفرق 65 نقطة و130 نقطة IQ خلال 10 أجيال. إنّ 130 نقطة IQ، هي الفرق بين *آينشتاين* وبين شخص يعاني من إعاقات عقلية شديدة ويتطلب العناية الدائمة. من جهة أخرى هو الفرق بين *آينشتاين* وبين شخص سجّل أعلى معدّل للذكاء في تاريخ البشرية.

غير أنّ ستيفِن هَسو كان أكثر تفاؤلا بصدد الفرق الممكن. في العادة تؤثر بعض الجينات إيجابًا أو سلبًا على ذكاء الفرد ممّا يجعل منحنى الذكاء اعتياديًّا، قلة عالية الذكاء من طرف تقابلها قلة منخفضة الذكاء من الطرف الآخر. وفي الوسط أغلبية لها معدل متوسط من الذكاء. لو كان كلّ من الجينات قد التف ليكون له تأثير إيجابي، فإنّ الحصيلة ستكون بشرًا ذوي مستوى عاليًا من الذكاء مع انحراف معياري مقداره 100 درجة. يعتقد هَسو أنّه بسبب قدرتنا على تمييز أكثر الجينات المرتبطة بالذكاء خلال حقبة من الزمن، فإنّ الآباء والأمّهات في المستقبل، ربّما سيكونون قادرين على اختيار الجينات قبل زرعها اعتمادًا على علاقة الجينات بالذكاء، وستؤدي بالنتيجة إلى خلق أشخاص حادي الذكاء يبلغ متوسط الذكاء IQ لديهم 1000 درجة.

الذي تخفيه تلك الحسابات هو زيادة الإمكانية في أن يكون أطفال المستقبل ذوي قدرات باهرة ومتميزة. فسيكون هناك عباقرة في الرياضيات وموسيقيون بارعون ومؤلفون كبار ومن يكتبون برامج كومبيوتر متقدمة. سيقوم هؤلاء بإحداث ثورة في طرق حياتنا وتفكيرنا، أكثر ممّا فعله *آينشتاين* و*كُنفوشيوس* و*مَري كَري* و*إسحق نيوتِن* و*شكسپير* و*دَيفِد هَسِلهوف*. كتب هَسو يقول، «بإمكاننا أن نتصور قدرات علمية تمنحنا الحدّ الأقصى من استعادة الصور والكلمات والتفكير الفائق السريع والقدرة على إجراء الحسابات الدقيقة وتصور الأبعاد الهندسية الحادة حتى وإن كانت

ذات أبعاد عميقة، وتخلق لدينا القدرة على إجراء التحليلات المعقدة والمضي في خطوط متوازية من التفكير في ذات اللحظة، الخ»[111].

وبطبيعة الحال، ليس لدينا فكرة عمّا يمكن أن يعنيه وجود شخص بنسبة ذكاء تبلغ 1000 درجة. إنّ عملية التطور ملأى بالتكرار والحماية والتنازل عن ميزة من أجل الحصول على ميزة أخرى. من الممكن جدّا وربّما من المُحتمل أنّ الشخص، الذي هُندسَت جيناته ليكون متوسط ذكاءه 1000 درجة، قد يصبح مجنونا أو معتلا اجتماعيا خطيرا أو أنّ يتطور لديه مرض عصبي لم يُعرف من قبل. سيكون من الصعب معرفة وتحديد الطفرات الضارة، التي اندفعت وتطورت عبر عدة أجيال من الجينات، قبل أن يولد هذا الشخص. إنّ خلق إنسان خارق ستكون له بطبيعة الحال، عواقب أخلاقية.

لا شكّ أنّ الأمر جنوني ومُرعب للعديد من الناس كي يتصوروا أنّ الأجيال الجديدة من البشر يتجاوز متوسط ذكاؤها ذكاء الشخصيات المعروفة في التاريخ. ولكن من ناحية أخرى، أليس جنونا أنّ متوسط ذكاء الفرد منّا، يجعلنا شبيهين بإفراخ الدجاج التي تولد من بيضة واحدة في الشهر. لربّما يكون تطورنا لحدّ هذا التاريخ قد حسّن ذكاءنا ليتوازن مع ضرورات البقاء على قيد الحياة، وأنّ الزيادة في درجات الذكاء، قد تتطلب دماغا أكبر لا تستوعبه الجمجمة الحالية للإنسان.

إذا كان الأمر كذلك، فإنّ الحلّ لهذه المشكلة الافتراضية هو أن نقوم بتوسيع حجم الجمجمة البشرية. وهذا هو ما دفع بالمتخصصين بأمور المستقبل مثل *رَي كرُزوَيل* أن يتنبأ بأنّ الحدود المفروضة على الدماغ بفعل حجم الجمجمة سيدفعنا إلى دمجه بنشاط الآلات، ليكون بمقدور قدراتنا الفكرية أن تتوسّع أضعافًا مضاعفة، ربّما على غرار سُحب الحوسبة computing clouds الحالية، لتجاوز العقبات الجسمية. وحتى لو كان الأمر كذلك، فإنّ الجنس البشري بحاجة إلى عباقرة لهم متوسط ذكاء يفوق ما موجود كي يستطيعوا استنباط الشفرات وكتابة البرامج، التي تقود الذكاء الاصطناعي artificial intelligence، وجعل هذه القدرات في التوسع الذهني مفهومة ومتوفرة للجميع.

لن يتمّ اختيار الأمّهات من بين مئات الجينات، التي لم تزرع بعد، قبل مرور حقبتين على الأقلّ، وأنّ الأجنة البشرية لن تتزاوج حتى مرور فترة أطول. ولكن إذا كان ذلك ممكنًا في يوم ما، فسنواجه مجموعة من الأسئلة الأخلاقية الشائكة. هل أنّ مسؤولية الأم نحو طفلها الأول وما يتبعه

من خمسة أجيال من الأحفاد، ستكون مختلفة عن مسؤوليتها لطفلها البايولوجي المباشر؟ هل للأجنة في المختبرات حقوق؟ هل مزاوجة الأجنة مع بعضها البعض «بدون موافقتها» نوع من العبودية؟

ولكن مهما كانت درجة الغرابة في اختراق عملية الإنجاب البشري في أيامنا هذه، فإنّ أيّ طفل يولد من خلال هذه العملية، سيكون سالما بنسبة 100 % من أيّة محاولة للتلاعب بحمضه النووي DNA. إذا لم يكن ذلك كافيا لإشاعة الطمأنينة، فإنّه راجع إلى أنّنا لم نناقش لحدّ الآن تكنولوجيا مسح الجينات وتعديلها، ليكون بالمقدور زيادة احتمال إحداث تغييرات أساسية في جنسنا البشري.

الفصل الخامس
شرارات إلهية وغبار عابث

تتقدم الأفكار الثورية بتقدم الثورة التكنولوجية.

حين كان گرِگُر *مُندَل* يجري تجاربه على نبتات البازلاء، ما كان يدور بخلده أو يتصوّر مقدار الحسابات المعقدة التي يمكن أن تجريها أجهزة الكومپيوتر بعد قرن من زمانه. كما لم يكن باستطاعة *واتسُن* أو *كرِك* أو *فرانكلِن* أو *وِلكِنز* أن يتوصلوا إلى اكتشاف شكل السلم الحلزوني المزدوج للحمض النووي بدون استخدام جهاز تصوير الأشعة السينية واستخدام المجهر. وما كان باستطاعة *فرانك سانگر* ولا *ألِن كوَلسُن* ولا *لِروي هود* ولا آخرين غيرهم، من اختراع تسلسل الجينوم باستخدام المعالج microprocessor. تحاول فرق الباحثين حول العالم تحسين فهمنا للجينوم البشري، ولن يكون ذلك ممكنا دون الاعتماد على اللوغارتيمات المعقدة والرقائق المتقدمة advanced chips لتدوين المعلومات وتصنيفها وتحليلها.

يغيّر هذا التناغم بين التطور المزدوج للأدوات والأفكار، باستمرار مشاعرنا اتجاه انفسنا واتجاه الكائنات الأخرى من حولنا. مع أنّ أسلافنا ربّما كانوا هم انفسهم الأطفال المحبوبين نتيجة شرارات إلهية divine sparks أو غبار عابث pixie dust، فإنّ العديد منّا يرون أنفسهم أنّهم حصيلة رموز وشفرات. لقد أطلقنا اسماء على أجهزة أجسامنا، التي أصبحت تشابها مستعارا metaphor لما يجري في داخلها. لم تكن تلك قفزة علمية بل أيضًا قفزة في مفاهيمنا. فبعد بلايين السنوات من بدء الخليقة، جاء *داروين* بنظرية التطور والطفرات العشوائية والانتقاء الطبيعي. وقد

ساعدنا هذا التغيير كي نتصوّر المستقبل، ليس فقط في اختيار أطفالنا لذلك الزمن، ولكن أيضًا في اختراق شفراتهم الوراثية وكتابتها.

في الوقت الذي بدا فيه العلماء فكّ رموز الجينوم، بدأوا يتصورون كيفية إحداث التغييرات فيه. بدأوا في ستينات القرن المنصرم استخدام الإشعاعات لتحفيز الطفرات الوراثية في الكائنات البسيطة وفي النباتات. كانت عملية بطيئة مكلفة غير دقيقة وتطلبت مثابرة جاهدة. ومقابل كلّ طفرة مرغوبة، اكتشفوا وجود مئات وآلاف وربّما ملايين الأمور الضارة وغير المنطقية. أدرك العلماء في الثمانينات والتسعينات كيف يستطيعون أن يجمعوا بدقة أكثر، جينات من كائن مع جينات كائن آخر، فكان ذلك خطوة كبيرة للأمام. غير أنّ «المطاردة» ما زالت مستمرة لأجل التوصّل إلى استهداف الجينات وتحويرها بشكل أفضل وأسرع وأدقّ، فأضحت هذه الجهود أخيرا محاولات حثيثة.

في دراسة هامة قام بها عالما الجينات الأمريكيان *آرُن كُرتِس* وهَوَرد جَيكُب، حول صنف من البروتينات يُسمّى زِنك فِنگر نُكليَس ZFN، يمكن تصميمه ليلتصق بالحمض النووي، لغرض المساعدة في المراجعة الدقيقة والكشف الواضح للجينوم. وباستعمال هذا البروتين ونتيجة لهندسة جرت بشقّ الأنفس تمّ ربطه بالحمض النووي كي يخلق شرخا مزدوجًا ناجحًا في المكان المحدد. لو تصورنا شكل السلم الحلزوني المزدوج للحمض النووي فإنّ بروتين ZFN يخترق الجزء المطلوب ويخلق المجال، كما لو كان يمكن أن تجد ممسكا لتضع يديك وأنت تتسلق هذا السلم.

تمّ استخدام هذه التكنولوجيا بسرعة لمسح جينوم الفئران والجرذان والبقر والخنازير، وغيرها من الحيوانات الثديية في تجارب مختبرية تمّت بدقة متناهية أكثر ممّا كانت عليه في السابق. أصبح بروتين ZFN هو الذي تعوّل عليه تكنولوجيا مسح الجينات ومراجعتها gene editing في مختبرات البحوث حول العالم. لكنّ هذا الإجراء الغالب لم يستمرّ طويلًا.

تمّ في عام 2011 اكتشاف طريقة أخرى لمسح الجينات ومراجعتها، سُمّيت تالِن TALEN، وهو اسم غريب لكنّه اسم لأداة ثورية. يمكن استعمال TALEN لشرخ فتحتين للوصول إلى سلم الحمض النووي، وهي طريقة أكثر مرونة ومتعددة الجوانب والاستعمالات مقارنة بطريقة ZFN. ويمكن استخدامها لمسح مجال واسع من مواقع الأهداف الجينية بمزيد من الدقة في تلك الأوقات الغاربة، التي لم تتعدَ بضع سنوات. بدت طريقة TALEN كأنّها السحر واستُخدِمت لتعديل عدد من

الأمراض الوراثية بكفاءة عالية وفاعلية وخلق فئران وبقر وخنازير وماعز واغنام وحتى قردة، بجينوم معدّل. وحين تحسّنت العملية استُخدِمت في إزالة أمراض العيون الوراثية لدى الفئران والجرذان، وأنّ احتمالات استخدامها لمعالجة الأمراض البشرية واعدة للغاية. اعترافا بأهميّة هذه الطريقة، أطلقت مجلة الوسائل الطبية على TALEN لقب «طريقة عام 2011»[112]. ولكن بالرغم من أنّ TALEN أسهل استعمالًا من ZFN وبدت سريعة المفعول في وقتها، فهي الأخرى شيء لا يمكن مقارنته بالأداة الجديدة، التي ستغيّر عالم مسح الجينات وتعديلها خلال قرن بعد بلايين السنين من بدء الخليقة. واعتمادًا على طريقة حسابك، فإنّ هذه الأداة عند المنعطف التالي.

بدأ استخدام تطبيقات هذه الأداة الجديدة على الكائنات الأصغر.

* * *

البكتريا هي أوّل اشكال الحياة المبكرة على الأرض، وهي الباقي على قيد الحياة في نهاية المطاف. ما زالت الفايرُسات تهاجم هذه البكتريا منذ بليون عامًا. تصارعها من أجل الحصول على مجال لوضع حزمة من حمضها النووي فيها. لا تقوم هذه الفايرُسات بفعل ذلك مدفوعة بالخبث، بل لأنّها مدفوعة بستراتيجية البقاء القائم على الإنقضاض على الخلايا البكتيرية وتحويلها إلى خلايا تنتج الفايرُسات. الفايرُسات عدوانية بطبيعتها، لكنّ البكتريا ما كان لها أن تستمر وتتكاثر لفترة طويلة، ما لم تكن قد وضعت ستراتيجية للدفاع من أجل بقاءها، هي الأخرى.

في عام 1987 قام الباحثون اليابانيون في جامعة أوساكا بتفحّص تسلسل الحمض النووي للكروزومات، فشاهدوا سلسلة من الشفرات الجينية يتكرّر وجودها في سلسلة من مجموعات الشفرات. وبعد فترة قصيرة أفاد باحث اسپاني شاب اسمه *فرانسسكو موهيكا*، الذي كان يدرس تسلسل البكتريا وتحملها لشدة الملوحة، أنّه شاهد نفس النماذج من التجمعات متناوبة الشفرات تظهر بشكل غير متوقع في الحمض النووي للبكتريا.

حين قارن *موهيكا* التسلسل، الذي اكتشفه مع ذلك الذي وضعه الباحثون الآخرون في قاعدة بيانات بنك الجينات، بدأ يلاحظ أنّ تجمعات الشفرات المتكررة المتناوبة في البكتريا تتطابق مع بعض تجمعات الشفرات عند بعض الفايرُسات. لم يكن أحد في ذلك الوقت يدرك وجود هذه التجمعات إو إنْ كانت لها أيّة أهميّة تُذكر. وعلى أيّة حال، طرح *موهيكا* وباحثون آخرون مثل *گلِز*

فرگنو و*ألگزندَر بولوتِن* في فرنسا، سلسلة من التنبؤات الذكية، وهي أنّ البكتريا تستخدم الشفرات المتكررة باعتبارها نموذجا من جهاز المناعة[113]. وفي فترة لاحقة أطلق الباحث الهولندي *رُود يانسِن* على هذه التسلسلات أسم التكرارات المُنتظمة والمتباعدة المتناقصة القصيرة. كان هذا اسما طويلًا، فقام باختزاله وأصبح **كرِسپر** CRISPR.

في نفس الوقت، سمع العلماء في شركة دانِسكو، وهي أكبر شركة لصناعة الألبان في العالم بما قام به *بولوتِن*. ونظرا لأنّ بكتريا الثيروفِلوس العقدية تلعب دورا كبيرا في تحويل الحليب إلى اللبن والجُبنة، بدأ عالما الشركة المذكورة وهما *فِلِپ هورفاث* و*رودولف برانگو* يتساءلان إنْ كانت معرفة استجابة هذه البكتريا لأيّ هجوم فيروسي قد تأتي به طرق جديدة لحماية خمائر اللبن والجبنة من الفشل العرضي.

نتيجة التعلم من موهيگا و*بولوتِن*، قام هورفاث وبرانگو بتعريض بكتريا التخمير للفايروسات التي قتلت معظم تلك البكتريا. وحين قاما بتكرار استعمال ما نجا من تلك البكتريا أصبحت هذه ذات مقاومة أفضل لتلك الفايرُسات. وعنى هذا أنّ البكتريا قد اكتسبت في الواقع مناعة ضد الفايرُسات، تماما كما يحدث عند إصابة الشخص بمرض الجدري، إذ يكتسب جسمه مناعة ضدّ المرض فلا يُصاب به ثانية. كان ذلك ما تنبأ به كلّ من *فرگنو* و*بولوتِن*. إنّ فهم دور **كرِسپر** المتكرر كان حصيلة جهود العلماء الذين بدأوا ينظرون في التاريخ الماضي لحياة المايكروبات على الأرض.

رغم أنّ المعركة بين الفايرُسات والبكتريا لا تزال قائمة منذ وقت طويل، فإنّ العلماء لا يعرفون الكثير عن الدور الذي تلعبه حتى بدأت أدوات تسلسل الجينوم الجديدة بإجراء مستوى عميق من الفحص الدقيق. جاء اكتشاف **كرِسپر** في وقت تقاطع تسلسل الجينوم مع تحليلات البيانات الكبرى. إنّ «أبطال **كرِسپر**» هم اولئك الذين استطاعوا فكّ الشفرة الجينية فتوصلوا إلى كيفية دفاع البكتريا عن نفسها.

يشبه **كرِسپر** أعلانا مصوّرا عن الفايرس «المطلوب حيا أو ميتا» في الغرب الأمريكي، والذي تدور قصص البكتريا عنه في شفرتها الجينية بعد تعرضها له. توجد بقايا البكتريا وشفرتها الجينية محفوظة في الحمض النووي للفايرس بسبب حالات التعرض السابقة. وهي التي تخلق سلسلة من اللقاحات الجينية ضدّ الفايرُسات الخبيثة.

فإذا دخل الفايرُس الجسم، تقوم البكتريا بإرسال إشارات للبحث عن شفرة الحمض النووي له وتقارنها بالمخزون من جينات **كرِسپر** لترى إن كانت على «قائمة الممنوعات». وحين تجد إحداها، تستعمل البكتريا إنزيما يلتصق بشفرة الفايرس ليفصل الحمض النووي الخاص به كي تتمّ مقارنة الشفرات. وإذا تحقق الأمر، تتمّ مهاجمة ذلك الفايرُس وتقطيع أوصاله فتنجو البكتريا من هجماته. تعود الحياة إلى الصالون مجددا فيهرع عازف الپيانو إلى مواصلة العزف كما يعود روّاد الصالون إلى معاقرة الخمرة ويتجمع آخرون حول موائد القمار!

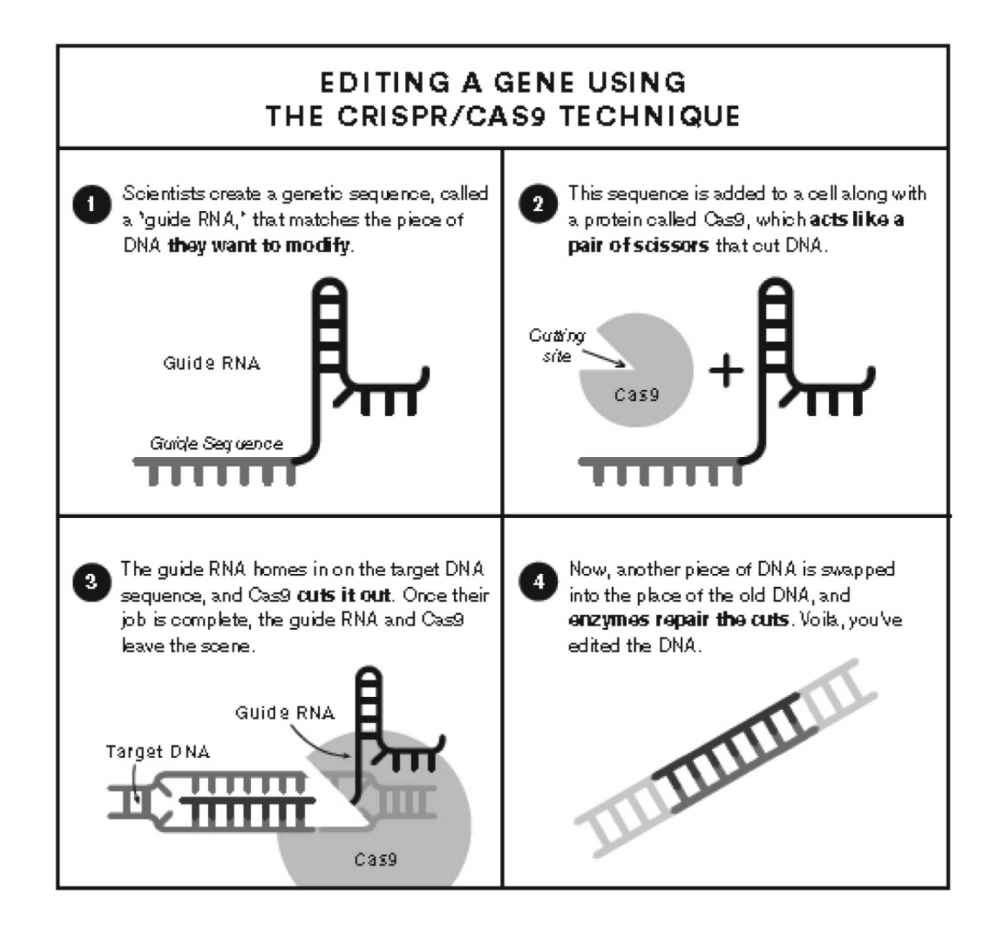
لكن هذه القصة لا تقتصر على الفايرُسات والبكتريا. السبب هو أن بعض البكتريا اندمجت في خلايا الكثير من اشكال الحياة منذ مئات ملايين السنين، وجعل ذلك الشفرة الجنينية، التي نبعت أصلا من الحرب القائمة بين الفايرُسات والبكتريا، تتكرر في كافة الخلايا تقريبا عبر طيف الحياة. تبين أنّ **كرِسپر** يحمل المفتاح الأساسي لمسح كلّ شفرة تخصّ الحياة ويعطي الفرصة لتغيير الحياة البايولوجية كما نعهدها.

وكلما توسع الباحثون في سبر غور عالم **كرِسپر**، كلما ازداد قيام دراسات كبيرة لمعرفة هذه الآلية الجديدة الملفتة للنظر. في عام 2010 اظهر *سِلفَين موينو* وزملاؤه كيف أنّ نظام CRISPR-Cas9 (وهو **كرِسپر** المرتبط بالجين رقم 9) قد حقق شرخا مزدوجا في الحمض النووي للتنبؤ بمكانه في شكل دقيق. وفي السنة التالية استطاعت *ايمانوَل شارپِنتَ* إظهار كيف أنّ أجزاء صغيرة من RNA تقود إنزايم الجين رقم 9 إلى هدفه.

في السنة التالية، أي عام 2012 استطاعت *شارپِنتَ* وزميلتها الجديدة *جَنِفَر دوندا* المتخصصة في الكيمياء الحيوية في جامعة كاليفورنيا، فرع بَركلي، وأيضا *مارتِن جِنِك* من تكييف نظام **كرِسپر** - كاس9 وجعله أداة دقيقة يمكن استخدامها لشرخ أيّ حبل من الحمض النووي. كما أنّهم اكتشفوا كيف يمكن أن يُستخدَم النظام لإدخال حمض نووي إضافي جديد. وبعد أن يتم الشرخ، يحاول الحمض النووي الأصلي أن يلتحم في مكان ذلك الشرخ، كي ينتزع الحمض النووي الذي وضعه الباحثون وسدّ تلك الثغرة. لقد جعل هذا عملية مسح الجينات وتفحّصها أسهل ممّا كانت عليه في السابق. وفي العام التالي، اعلنت *دوندا* و*شارپِنتَ* والباحثة *فِنگ زانگ*، التي تعمل مابين جامعة هارفرد ومعهد ماسَچوسِت للتكنولوجيا، أنّ **كرِسپر** - كاس9 يمكن أن يُستخدم لاستهداف مناطق عدة في الجينوم البشري في ذات الوقت إذا اردنا أن نلخص **كرِسپر** بجملة واحدة فستكون، إنّ أنظمة

كرِسپر تنشر نفس البكتريا الصغيرة القاطعة لتخترق الفيروسات المهاجمة وتقتنص أيّة شفرات جينية في المكان المطلوب وتضع محلها شفرات جينية سليمة جديدة، كما يوضح الشكل في أعلاه.

إنّ نظام **كرِسپر** - كاس9 بالغ الأهمية لأنّه يمتلك قدرات أكثر نفعا من



الطرق القديمة المتبعة في مسح الجينات وتفحّصها. وفي الوقت الذي كانت فيه طريقتا ZFN وTALEN موصى بهما من قبل ويتطلبان شهورا لتصميم كلّ منهما، فإنّ تكنولوجيا **كرِسپر** تكون دائمًا على نفس الشاكلة وتتطلب أياما قليلة فقط لوضعها وكلفتها قليلة نسبيا. وبرغم من نقاط القوة الساحقة، فإنّ لنظام **كرِسپر** بعض الجوانب السلبية. إنّ شقّ الحبلين المزدوجين للحمض النووي باستعمال هذا النظام أكثر دقة بكثير من نظامي ZFN وTALEN. لكنّ هذين الشقين يفتحان الباب لتأثيرات كبيرة لم تكن في الحسبان[115114].

في الوقت الذي كان فيه العالم والإعلام الشعبي منتشيًا بطريقة **كرِسپر** - كاس9، كان هناك تيار من التقدم، الذي اظهر أنّ هذه الطريقة أكثر عددا في المجالات والاستعمالات، ممّا سبقت معرفته، وأنّه لن تكون الأخيرة في ميدان المسح الدقيق للجينات وتفحّصها. في الحقيقة، إنّها البداية فقط.

وبدلا من أن يكون دوره مماثلا لدور «المقص» لفتح الثغرات المطلوبة، فإنّ نظام **كرِسپر** متعدد الاستعمالات لتسجيل التغيرات الجينية داخل الخلية مع مرور الوقت وتحديد نوعية سلالات الفيروسات وفحص الإلتهابات الناجمة عنها والتعرف على الجينوم في مكانه وإداء عدد آخر من المهام[116]. كما قام **معهد برَود** بإدارة *فِنگ زانگ* بمزاوجة **كرِسپر** مع انزايم آخر هو كاس13 لمراجعة وفحص RNA (الحمض النووي الريبي، وهو جزيء البوليمرية، الذي يلعب دورا مهما في الشفرة وفكّها وتنظيم الجينات والتعبير عنها.) يساعد هذا في الوصول إلى الهدف المطلوب، حيث يمكن فتح ثغرات في الجينوم وإدخال التعديلات عليه.

يلجأ العلماء الآن إلى استخدام **كرِسپر** ليس فقط في تغيير الجينات ولكن أيضًا في تحوير العلامات الجينية، التي تشير إلى التعبير عن تلك الجينات[117]. بالرغم من أنّ المحاولات الأولى المتشككة في مسح الجينات وتفحّصها بالشكل المطلوب، قد حذرت من أن التأثيرات اللاجينية epigenetic influences للتعبير عن الجينات، تطرح مسألة أكثر تعقيدًا ممّا نعرفه في السابق حول مسح الجينات وتفحّصها. لقد أشار التقدم الحديث في هذا الميدان إلى أنّ هذا المسح والتفحص اللاجيني يكون «على حافة إعادة برمجة الجينات حسب الرغبة»[118]. ومع ارتفاع معدلات مسح الجينات وتعديلها، أصبحت العملية أقلّ كلفة وأكثر دقّة، وأنّ العلماء الذين يساهمون فيها قد كوّنوا شبكة لتبادل الآراء على مستوى وسرعة لم تخطر ببال أحد في السابق. وحتما ليست على مستوى التبادل الذي جرى بين گرِگُر *مُندَل* وزملائه من الكهنة، ولكن أيضًا بشكل أكثر تعقيدًا على المستوى العالمي يفوق ما قام به العلماء من التواصل قبل حقبة من الزمن.

أمّا التقدم الذي جرى خطوة إثر خطوة، فبدأ بالتجارب على النباتات وثمّ الحيوانات، والآن تجري تطبيقات متزايدة على البشر، وتتوسع بشكل واضح.

شملت المرحلة الأولى من تحديد دقة مسح الجينات وتعديلها، استخدام هذه الأدوات لأغراض البحث المتقدم. ومن الفوائد المبكرة لنظام **كرِسپر** - كاس9 هي القدرة على استهداف وعزل بعض تسلسلات الحمض النووي لأغراض الدراسة. ونتيجة لاستعمال «المقص الجزيئي» لإنزايم كاس9 لفتح الثغرات في التسلسل الجيني بطريقة أسرع واسهل وأقلّ كلفة، أصبح بإمكان العلماء أن يدرسوا تأثير الجينات المصابة على الخلايا والكائنات الحية. وهذا إنجاز باهر للبحوث العلمية، التي سرعان ما تحولت إلى تجارب وتطبيقات في مختلف مختبرات العالم وحقول تربية الماشية، وبشكل أقلّ ومبدأي على البشر.

فمثلا، قام أستاذ في علم النبات في جامعة ولاية پنسِلفَينيا، باستخدام نظام **كرِسپر** لاستهداف مجموعة من الجينات التي تحمل شفرة أكسيد اليوليفِنول PPO، وهو إنزيم يستجيب إلى عملية الأكسدة [119] oxidization. الجين المعدل الذي سمّاه «التفاح القطبي» جعل قطع التفاح المتروكة في الهواء لا يصبح لونها بنيّا، كما هو معروف، لأن العلماء استخدموا **كرِسپر** «لتعطيل» الجين الذي يتحكم بإنتاج الإنزايم الذي يجعل لون قطع التفاح بنيًّا[120]. كما استُعمِل جين مقاوم للفايروسات المدمرة لنبتات البَپايا قزحية اللون Rainbow Papaya وثمارها اليوم مطروحة في الأسواق، وكذلك البطاطا الفطرية المقاومة لتغيّر اللون بعد قطعها. كما حصلت شركة دِل مونت على موافقة الجهات المعنية لإنتاج ثمار الأناناس وردية اللون المعدلة، والتي تحتوي على مادة لايكوپِن المضادة للسرطان، ولا تحملها ثمار الأناناس الاعتيادية. كما تمّ إنتاج الذرة الشمعية waxy corn الغنية بمادة النشأ، وأيضًا تمّ إنتاج القمح الذي زيدت فيه كمية الفايبر وخلا من مادة الگلوتِن، التي تسبب حساسية عند بعض الناس. كما تمّ تعديل جينات الطماطة لكي تنمو في المناطق الدافئة. عُدّلت أيضًا بذور الكاملينا لتعطي مزيدا من أحماض أوميگا3، أي الأحماض الدهنية النافعة. تمّت كلّ هذه التعديلات بفعل استخدام تكنولوجيا **كرِسپر**. إنّ تناولنا للألبان والجبنة والمحاصيل والفاكهة المذكورة يعني أننا ندخل في أجسامنا الجينات، التي عدّلها نظام **كرِسپر**.

إنّ مسألة مسح جينات النباتات وتعديلها لا يعني فقط أنّ نبات الفطر لن يغيّر لونه فيصبح بُنيّا وكذا حبّات البطاطا لا تغير لونها بعد تقشيرها وتقطيعها. إنّ هذه التكنولوجيا تعني توفير بلايين الدولارات لحماية هذه المحاصيل من التلف وانقاذ حياة ملايين البشر الفقراء حول العالم[121]. في أفريقيا وجنوب آسيا حيث تكون نسبة عالية من الناس فلاحين وحيث يكون معدل درجات الحرارة دافئا وعدد السكان في تزايد وتوسع كبيرين، فإنّ الحاجة لمثل هذه التعديلات الجينية ضرورية. إنّ استخدام الجينات المعدلة مكّن من خلق اصناف الرز وغيره من المحاصيل الأخرى ذات القدرة على

التكيّف والنمو بسرعة وتحتاج إلى مياه أقلّ. وبحسب رأي صاحب الأعمال الخيرية *بِل گيتس*، «إنّها المنقذ للحياة على نطاق واسع»[122].

إنّ أدوات مسح الجينات وتعديلها قد جّرّبت بشكل واسع على الحيوانات. فإضافة لتوليد الفئران والجرذان معدّلة الجينات في المختبرات لأغراض البحوث الحيوية، استعمِل نظام **كرِسپر** لتعديل جينات الحيوانات الأخرى، فمثلا تساعد مؤسسة گيتس جهود التحالف العالمي لإنتاج الأدوية الخاصة بالطب البيطري للماشية لخلق نوع من البقر معدل الجينات ويسمّى «البقر الممتاز» الذي يتحمّل درجات الحرارة العالية وينتج كميات أكبر من الحليب من الأبقار المألوفة[123]. استعمل أحد العلماء، الذي تعاني ابنته من حساسية أكل البيض، **كرِسپر** - كاس9 لخلق دجاج يضع بيضًا لا يسبب حساسية عند البشر. كما يستعمل الباحثون **كرِسپر** لتعديل جينات الخنازير وإنتاج نوع يقاوم الفيروسات وينمو بسرعة أكبر ويكون خاليا من الطفيليات. كما استعملوه لتوليد ماشية بدون قرون. توفر هذه التعديلات لتجار مربي الماشية مئات الملايين من الدولارات كلّ عام.

وعلى مستوى آخر أقلّ واقعية عملت منظمة بي جي آي الصينية في مدينة شِنزِن على خلق خنازير يمكن استخدامها في المختبرات أو تربيتها في البيوت، بحيث لا يزيد وزن الواحد منها على 33 پاوند. يقابل هذا 1/ 17 فقط من الوزن الاعتيادي للخنازير[124]. وفي جامعة هارفرد عمل جورج چَيرچ في تطوير مشروع معقد للغاية، هدفه إمكانية استعمال **كرِسپر** لمضاعفة الجينوم الآلي لاستعادة الحيوانات المنقرضة إلى الحياة مرة أخرى، ومنها حيوان الماموث كثيف الصوف، وفي نفس الوقت إحداث تغييرات عديدة لجينات الفيل الآسيوي[125].

على الرغم من استعادة الماموث كثيف الصوف، وبناء على الجينات المعدلة للنباتات والحيوانات، التي نستخدمها في وجبات طعامنا اليومية، ستخدم هذه مستوى جديدًا عاليًا في مسألة تعديل الجينات بشكل عام. إنّ التوقعات، التي يصعب تصديقها في مجال آلات تحوير الجينات، توفر ما يمكن من علاجات الأمراض، سيدفع إلى قبول المجتمع لمثل هذه التكنولوجيا أكثر فأكثر.

رغم أنّ هذا الكتاب يركز على تحوير الجينات الوراثية وتعديلها من أجل تغيير جنسنا، فإنّ الطريق من هنا إلى المستقبل سيمرّ في كثير من التطبيقات وعلاجات الجينات غير الوراثية من أجل مقاومة الأمراض وتحسين الرعاية الصحية. سيكون تحويل عملية تطورنا المبتغى المطلوب للثورة

في مجال الجينات، لكنّ الطبّ سيكون محطة اساسية على الطريق ممّا نحن فيه الآن وحتى وصولنا إلى الأهداف المبتغاة.

* * *

حين تمّ طرح إمكانية تحوير جينات البشر من أجل معالجة الأمراض في فترة ثمانينات القرن الماضي، تمّ التعرّف عليها باعتبارها أمرا متوقعا على المدى البعيد. ولكن خلال السنوات التي تلت ذلك، ونتيجة لإمكانية التلاعب بالجينات لمنع الإصابة أو معالجة الأمراض العديدة، باتت تلك الإمكانية حقيقة واضحة. فبدلا من الطرق التقليدية لمعالجة الأمراض بالعقاقير الطبية والعمليات الجراحية، أصبحت العلاجات الجينية تعتمد على استعمال الجينات لمنع الإصابة بالأمراض، بتدمير أو قطع الطريق على خلايا الجينات المصابة واستبدالها بجينات سليمة و/أو حتى إضافة جينات جديدة لمساعدة جسم الإنسان على مقاومة أمراض معينة[126] بالرغم من أنّ هذا يبدو مثيرا، فإنّ الطريق لتحقيق العلاج باستخدام الجينات في ميدان العناية الصحية لا يزال محفوفا بالمخاطر.

بحلول عام 1999، كان الأطباء في مستشفى جامعة پَنسِلفَنيا على ثقة أنّ علم علاج الجينات قد تقدم بشكل كان يمكن فيه استعماله لمعالجة جَس گلِسِنجَر، البالغة من العمر 18 عامًا، والتي تعاني من نقص في أورنثين ترانسكَر پامِليز OTC. وهو خلل جيني نادر يسبب ارتفاع مستويات الأمونيا في الدم، وغالبا ما يؤدي إلى إحداث ضرر في الدماغ يقود إلى الموت المبكر. وبعد مرور 4 أيام على تلقي العلاج لتصحيح جين OTC على شكل فايرس معدّل لفايرس الزّكام، توفيت المسكينة جَس.

لم تكن وفاة جَس مأساة شخصية للعائلة فقط، بل أنّها أدت إلى ارتفاع صرخة عالية للتوقف عن استخدام العلاجات الجينية لمعالجة الأمراض الوراثية في أمريكا، وبالتالي في كافة أنحاء العالم. منعت وزارة الصحة جامعة پَنسِلفَنيا من الاستمرار في محاولاتها لاستخدام العلاجات الجينية، وبدأت التحقيق في 60 حالية جارية في الولايات المتحدة في حينها. ثمّ وضعت الوزارة شروطا متشدّدة لضمان سلامة المرضى أثناء محاولات العلاج الجيني[127].

في الوقت الذي كُبِحت فيه محاولات استخدام العلاج الجيني، شرع الباحثون في العمل لتطوير طرق آمنة وأفضل لنقل الجينات[128]. وحين تحسّنت طرق مسح الجينات وتفحّصها في

السنوات التالية، تحسنت معها آفاق العلاج الجيني. في عام 2009 أعلنت مجلة ساينس «العودة إلى العلاج الجيني» بناء على انفراج كبير في ذلك العام[129]، ونتيجة للتطورات الحديثة في أدوات مسح الجينات وتفحصها، والمقصود هنا نظام **كرِسپر**، الذي لم يجعل مستقبل العلاج الجيني ممكنا، بل أكثر إشعاعا[130].

بالرغم من الاستخدامات العديدة لطرق العلاج الجيني، فإنّ أكثرها إثارة وحظي بتغطية واسعة في الإعلام، هو تعزيز القدرات الوراثية لخلايا T عند الفرد. وهي خلايا الدم البيضاء، التي تلعب دورا اساسيا في استجابات جهاز المناعة الطبيعية لدى الإنسان. ووفق الطريقة المسماة CAR-T تؤخذ خلايا الدم البيضاء من جسم الشخص المصاب بنوع من السرطان، ثمّ تتمّ هندستها لرفع قدرة خلايا T لتقبّل المضادات الكيميائية CAR، واعادتها لجسم الشخص وهي مزودة بقدرة هائلة للقضاء على السرطان.

خلال فترة 3 أشهر الأولى من محاولة شركة نوفارتِس لهذه الطريقة باستعمال التجارب السريرية clinical trials عام 2017، اظهرت النتائج أنّ 83% من الحالات المرضية قد حققت معدلات هامة من النجاح في انحسار أمراض السرطان. وعليه، فقد انصبّت بلايين الدولارات لِلاستثمار في هذا الميدان، وكان في طليعة المستفيدين شركة نوفارتِس وجي ليد ويونو ثرِپيوتَكس وسَلجَن وسَرفير، التي تعمل جميعا على تطوير العلاج الجيني لمقاومة اشكال السرطان. وتجري حاليا حول العالم مئات من التجارب السريرية. لا زالت طريقة معالجة CAR-T تحقق تغييرات هامة، ولو أنّ عددا قليلا من المرضى قد فارقوا الحياة خلال تلك التجارب السريرية. ولكن لا شكّ أنّ مسح وإزالة وإعادة الجينات إلى جسم الإنسان ستلعب دورا هاما في مكافحة السرطان وغيره من الأمراض في المستقبل. في شهر أغسطس من عام 2018 تلقت الإدارة الأمريكية للأغذية والأدوية USFD أكثر من 700 طلبا للمعالجة بهذه الطريقة الجينية[131].

إنّ سحب الخلايا من جسم الإنسان ومسحها ومراجعتها وتعديلها ومن بعد إعادتها للجسم وفق هذه الطريقة خطوة عملاقة نحو الأمام. وهي أكبر تقدم في قدراتنا النامية في استخدام نظام **كرسپر** وغيره من الأدوات لمسح الجينات وتدمير الخلايا الفاسدة الموجودة داخل جسم الشخص. إنّ مسح الخلايا داخل جسم الإنسان سيفتح مجموعة جديدة كاملة من الإمكانيات، ليس فقط لمعالجة الأمراض، ولكن أيضًا لمسح الأجنة البشرية وتعديلها gene editing.

فمثلا هناك دراسة لمراجعة الخلايا الجينية المعدّلة بقصد معالجة كبد البشر المصاب، الذي تمّ زرع خلاياه داخل أجسام الفئران الحية[132]. وفي دراسة أخرى استعمل فيها نظام **كرسپر** لمعالجة الأخلال الجينية المسببة لأمراض الكبد الأيضي metabolic liver لدى الفئران التامة النضج[133]. إنّ هذا النوع من المعالجات الجينية الحية ليست جاهزة لاعتماد نتائجها بعد، رغم أنّ النتائج الأولية اظهرت نجاحا في معالجة العمى ومرض الدم من نوع Hemophilia B وبتا- ثالَسِميا Beta- thalassemia وضمور العضلات الدوچيني Duchenne Muscular Dystrophy والتليف الكيسي Cystic Fibrosis وضمور العضلات الشوكي Spinal Muscular Atrophy. كما تمّ تأسيس شركات متخصصة جديدة مثل أديتَس، التي أسسها **جورج چَرچِ** بالمشاركة مع *فِنگ زانگ* وآخرون وشركة كاريبو بايوساينس، التي أسستها **جَنِفَر** *دَودنا* وآخرون. تستمرّ هذه الشركات بالمضي قدما لتطوير طرق جديدة لمعالجة العديد من الأمراض باستعمال جهاز **كرسپر** لتعديل الجينات واستبدالها. أصبح رجل في سنّ 44 عامًا في كاليفورنيا في عام 2017 أول شخص يحصل على جينات معدلة في داخل جسمه لمعالجة المرض الذي يعاني منه وهو متلازمة هنتر الإيضية. Hunter Metabolic Syndrome. (يشير مصطلح الأيض Metabolism إلى مجموع كافة التفاعلات الكيميائية، التي تحدث في الكائنات الحية، بما فيها الهضم ونقل المواد إلى وبين الخلايا المختلفة- المترجم)

استجابة لهذا التقدم اعلنت دائرة الأغذية والأدوية وكذلك المعهد الوطني للصحة في شهر أغسطس من عام 2018 أنّهما سيخفضان من مراقبتهما على عمليات العلاجات الجينية، «لأنّه لم تعد هناك أدلة كافية لإدعاء مخاطر العلاجات الجينية وبأنّها فريدة لا يمكن التنبؤ بها، أو لأنّ الميدان بحاجة إلى مراقبة خاصة، لوقوعه خارج إطارنا الحالي لتأمين السلامة»[134].

أنّ بزوغ عصر العلاجات الجينية قد صاحبته تطورات لدفع ثورة مسح الجينات وتعديلها إلى الأمام. فمحاولة شركة سِنثگو في السلكون فالي مثلا، بدأت تبيع الزبائن خلايا البشر المعدلة وفق نظام **كرسپر** وسلسلة من الخلايا الأخرى وتسليمها للباحثين خلال أيام معدودة. كما ظهرت شركة إنكريتا لتصنيع كافة الأدوات اللازمة لنظام **كرسپر** وتجهيزها بسرعة. أشارت **مجلة وايرد** في شهر مايو من عام 2018 إلى أنّها «تراهن على أنّ البايولوجيا ستكون منصة الكومپيوتر وأنّ الحمض النووي سيكون الشفرة التي تديرها، وسيقوم **كرسپر** بدور لغة البرمجة»[135]. برغم أنّ

الجيل الحالي من الرعاية الصحية القائمة على استخدام الجينات ليس جاهزا بعد لتسليمه لأجيال المستقبل من أبناء الذي عولجوا وفقه، فإنّ القبول الشعبي وزيادة الطلب على هذه العلاجات سيلعبان دورا مهما لجعل الرأي العام يتقبل بارتياح فكرة تعديل الجينات البشرية.

سيكون من المستحيل على هذا الكتاب أو غيره أن يغطي كافة التفاصيل والسرعة في التجارب المتقدمة وتطبيقات الرعاية الصحية في استخدام الجينات الدقيقة المعدّلة، التي تجري كلّ يوم. أورد فيما يلي بعض الأمثلة القليلة من نشاط تيارات التقدم المتسارع في هذا الميدان، والتي تمّ إنجازها في السنوات الحديثة فقط.

- في عام 2013، استعمل الباحثون الهولنديون **كرسپر** - كاس9 لمعالجة القصور في الخلايا الجذعية البشرية لإصلاح الخلل المؤدي إلى التليف الكيسي [136] Cystic Fibrosis.

- في عام 2014، استعمل العلماء **كرسپر** - كاس9 لإصلاح خلايا الكبد عند الفئران، التي تشابه المرض الوراثي عند الإنسان والمسمّى فرط تايروزين الدم [137] Tyrosinemia.

- في عام 2015، استخدم الباحثون **كرسپر** - كاس9 لتعديل جينات بتا گلوبِن الذاتية في الخلايا البشرية، والتي تتحوّل فينجم عنها اضطرابات الدم بتا - ثالَسِميا [138] Beta Thalassemia.

- في عام 2016، استعمل العلماء **كرسپر** - كاس9 لسحب خلايا مرض نقص المناعة الطبيعية HIV، واستبدلوها بخلايا جديدة معدّلة للحمض النووي بقصد حماية خلايا الشخص غير المعدّلة من الإصابة ثانية بهذا المرض[139].

- في عام 2017، استخدم الباحثون **كرسپر** - كاس9 لأوّل مرّة لفحص الجينات البشرية بنجاح وتصحيح الأخلال في جين MYBPC3، الذي يسبب تضخّم عضلة القلب[140].

- في عام 2018، أظهر العلماء كيف أنّ تقنيات **كرسپر** الجديد لمسح الجينات

وتعديلها يمكن أن تصحح ما يزيد عن 3000 من الطفرات، التي تتسبّب في مرض ضمور العضلات الدوچيني، بواسطة فتح ثغرة للوصول إلى الحمض النووي للمريض[141].

- في عام 2019، أظهر الباحثون كيف أنّ **كرسپر** - كاس9 يمكن أن يُستعمل بمصاحبة RNA للوصول إلى مستوى دقيق للغاية لمسح الجينات البشرية وتعديلها لتصحيح الطفرات الجينية، التي تسبّب مرض الخلايا المنجلية.

نظرا لأنّ مثل هذه الاختراقات على شكل أفكار واختراعات تغذي بعضها بعضا، فمن المؤكّد أنّ معجزات أخرى أكبر من **كرسپر** سيُعلن عنها قبل أن تتم مراجعة هذا الكتاب ودفعه للمطبعة. ومن المؤكّد أنّ أدوات مسح الجينات وتعديلها الأكثر دقة من **كرسپر** ستصل خلال السنوات القليلة التالية، «وستصبح العلاجات الجينية عماد المعالجة، وربّما الشفاء التام من العديد من الأمراض الفتاكة، التي يصعب تشخيصها»، حسب اعلان مفوّض دائرة الأغذية والأدوية FDA عام 2018، سكوت گوتلِب[142].

سيخلق الحصول على الراحة النفسية بصدد مسح خلايا البشر من اجل معالجة الأمراض الفتاكة، مستوى من الثقة بقدرتنا على استخدام **كرسپر** وغيره من الأدوات لمسح الجينوم البشري بدقة وبطريقة آمنة. وهذا المستوى من الثقة والارتياح العالي، سيدفع العلماء والأطباء وذوي أطفال المستقبل إلى طرح أسئلة عن أهمية استخدام هذه الأدوات لمنع حدوث هذه الأمراض أصلا.

* * *

الميتوكوندريا Mitochondria هي حزم الطاقة داخل الخلية، وتكون طافية في سيتوپلازم الخلايا. (إذا كانت الخلية بويضة فإنّ النواة هي الصفار والسيتوپلازم هو المادة البيضاء) وهذه هي ميراث البكتريا التكافلية المتداخلة في خلايا أجسامنا منذ مئات ملايين السنين الماضية. إن كانت جيناتنا، التي يصل عددها إلى 21 ألف جينا تقريبا، موجودة جميعا في نواة الخلية، فإنّ عددا قليلا آخر لا يتجاوز 37 جينا موجودة في الميتوكوندريا[143] وخلافا للحمض النووي الذي يكون مصدره من الوالدين معا، فإنّ الحمض النووي للميتوكوندريا mtDNA ينتقل من الأم إلى الطفل مباشرة.

يتمتع غالبية الناس بجينات الميتوكوندريا، التي تؤمّن لأجسامهم الطاقة التي تحتاجها خلاياهم. غير أنّ 1 من كلّ 200 شخصا يحمل مرضا نتيجة طفرات في الحمض النووي للميتوكوندريا mtDNA، وأنّ 1 من كلّ 6500 شخصا يظهرون أعراضًا لمرض الميتوكوندريا. تستهدف هذه الطفرات الخطيرة الأطفال الصغار وتسبب لهم عجزا في أجهزة الجسم المختلفة. تزداد هذه الأعراض بتقدم السنّ، ويمكن أن تزيد من الضرر في خلايا الدماغ والقلب وأجهزة الجسم الأخرى.

لو كان كلّ من يحمل هذه الجينات يموت مبكرا، لكان المرض قد انقضى وانقضت معه كافة المشكلات المتعلقة به. لكنّ مشكلات الميتوكوندريا، التي تنقلها الأم لأطفالها بين طفل وآخر يعيش بعضهم حياة لا علة فيها ويستطيع البعض التعايش مع المرض. لكن الفئة الثالثة تموت بشكل مرعب في سنّ مبكّرة.

وعلى مدى عدة آلاف من السنين، فإنّ العديد من الأمهات اللواتي يحملن جينات مرض الميتوكوندريا، لم يفهمن سبب معاناة أطفالهنّ منه ويلمن القدر. لكنّ القدر لا علاقة له بالأمر. وهذا ما اقنع الطبيب السويدي *رولف لوفت*، المتخصص بقضايا الغدد الصماء، أن يكون أوّلَ من شخّص مريضا يعاني من الميتوكوندريا عام 1962. بالرغم من التقدم الهائل، الذي تمّ احرازه في فهم هذا المرض في السنوات الأولى، لم يصاحب ذلك إيجاد أيّ علاج يمنع وراثة المرض وانتقاله من الأم لأطفالها.

في تسعينات القرن الماضي، قاد جاك كَوِن وزملاؤه في **معهد طبّ الإنجاب والعلوم** في ولاية نو جرزي محاولة رائدة لحقن سائل من سايتوپلازم بيضة سليمة داخل بيضة أخرى اعتقِد أنّ السايتوپلازم فيها مختل، وهو ما يسبب العقم. ورغم أنّ 17 طفلا قد وُلدوا سليمين من مرض الميتوكوندريا، فإنّ جنينين أشارا إلى وجود اضطرابات وراثية حادة[144]. واستجابة لذلك أصدرت مفوضية الأغذية والأدوية FDA عام 2001 أمرا طلبت فيه من العيادات الطبية أن تتقدم بطلبات لاستحصال موافقتها من أجل المضي في الطريقة المذكورة. ونظرا لأنّ سجلّ مثل هذه العمليات ليس آمنا تماما، تقدّم البعض بعدد من الطلبات، لكنّ المفوضية المذكورة لم توافق على أيّ منها.

ومع ذلك استمرت الجهود العلمية بهذا الصدد لإحراز التقدم المنشود. خلال الحقبة الماضية استطاع فريقان من العلماء أحدهما بريطاني والآخر أمريكي من تطوير أساليب جديدة لنقل

الميتوكوندريا المعدّلة. في واحدة من هذه التجارب أخذوا نواة سليمة من بويضة أم تحمل الميتوكوندريا وفيها خلل ووضعوها داخل بويضة رُفعت نواتها من أم أخرى لا تعاني من مرض الميتوكوندريا. وهو يشبه هنا الإبقاء على صفار البيضة وتغيير المادة البيضاء بأخرى سليمة. في المحاولة الثانية، اجري نفس الشيء على جنين في مرحلة مبكرة بعد إخصاب البيضة. أزال العلماء النواة ووضعوها داخل جنين امرأة أخرى رُفعت نواته وفق ما تمّ الاتفاق عليه مع الوالدين.

إزداد الاهتمام بهذه الطريقة بين العديد من الأمهات اللواتي يحملن مرض الميتوكوندريا. غير أنّ بعض المراقبين ازدادوا قلقا. إنّ نقل الميتوكوندريا معالجة لمسألة وراثية. فالبنت التي تحمل جينات الميتوكوندريا ستنقلها إلى ذريتها من البنات والى الأبد عن طريق حمضها النووي mtDNA. وهذا هو السبب الذي يحدو بالأمهات، اللواتي يجرين اختبار DNA لكي يستطعن العودة إلى جدّاتهن من الأجيال القديمة وصولًا إلى الجدة «حواء الميتوكوندريا» منذ ما يقرب من 160 ألف عامًا. بالرغم من أنّ المقدار الكلي للحمض النووي الموروث في الطفل الوليد، الذي خضع لمعاجة الميتوكوندريا، يكون قليلا، فإنّ تغيير الحمض النووي البشري من الناحية العلمية بالنسبة للأجيال القادمة سيكون قضية كبرى.

لقد سبقت المملكة المتحدة غيرها من بلدان العالم في مجال علاجات الميتوكوندريا وتطبيقاتها. بعد إجراء عملية الإخصاب المختبري وولادة الطفلة *لويز براون* في مانچستر عام 1978، أسست الحكومة لجنة لتقصي الحقائق حول الإخصاب البشري والأجنّة. اصدرت هذه اللجنة تقريرا رئيسيا عام 1984 حول خدمات مساعدة الإنجاب، ثم الحقته بتقرير آخر عام 1987 سمته «التقرير الأبيض»، الذي مهّد الطريق لتشريع القانون والمضي قدمًا. صدر القانون المطلوب عام 1990 وسُمّي **قانون الإخصاب والأجنّة البشرية** وأسِّست سلطة متابعة في وزارة الصحة والرعاية الاجتماعية HFEA لهذا الغرض. قامت هذه السلطة بإنجاز عمل لا يمكن تصديقه ونظمت تكنولوجيا الإنجاب في الأرض البريطانية.

رغم أنّ قانون 1990 لم يتطرق إلى معالجات الميتوكوندريا ولم يأذن بها، فإنّ الموضوع أثير عام 2010 حين سأل الباحثون وزارة الصحة والخدمات الاجتماعية البريطانية عن تعديل يسمح بنقل الميتوكوندريا السليمة. وبدلا من أن تقتصر الإجابة عن السؤال، قامت الحكومة البريطانية بحملة مركّزة استمرت 5 سنوات من أجل الاستشارة، بما فيها عقد مؤامرات للخبراء

المتخصصين وندوات شعبية عامة وفسح المجال لتقديم الاقتراحات المكتوبة لمسودّة التعليمات المطلوبة وإجراء تحليلات للكلفة في الخدمات الصحية. طُرِحت القضية على البرلمان البريطاني فصوت بالإجماع على تخويل وزارة الصحة والخدمات الاجتماعية النظر في تلك المعالجات. انتظرت الوزارة نتائج الدراسات الإضافية وعقدت ندوات أخرى حول سلامة تلك الأساليب وكفاءتها[145].

في شهر مارس من عام 2017 أصدرت وزارة الصحة والخدمات الاجتماعية أوّل رخصة للأطباء العاملين في تقنيات نقل جينات الميتوكوندريا المعدّلة إلى الأجنة البشرية كي تزرع في أرحام الأمهات. وبعد التصديق على إجراء محاولتين من هذا النوع وبتاريخ 1 فبراير عام 2018 تكوّن أول جنين بريطاني يحمل الميتوكوندريا المعدلة[146] وسيولد في عام 2019. تُعتبَر هذه المحاولة الأولى، التي تمّت بموافقة الحكومة على هندسة الجينات الوراثية. وهذه قفزة هائلة ليس في المملكة المتحدة، بل للإنسانية جمعاء، وقد أحسن البريطانيون أداء هذه المهمة.

أمّا في أمريكا، فإنّ مسألة نقل جينات الميتوكوندريا المعدّلة فما زالت رهينة دوائر البيروقراطية. لقد منعت مفوضية الأغذية والأدوية إجراء هذه العمليات في عام 2001 تجاوزا لصلاحياتها. أضف إلى ذلك، أنّه في عام 2016 منع الكونگرس المفوضية المذكورة من الموافقة على العلاج بنقل جينات الميتوكوندريا المعدّلة، رغم سلسلة من اللقاءات للخبراء المعنيين التي عُقدت لهذا الغرض. لم تصدر المفوضية موافقة لأنّ الموضوع أصبح جزء من القضية السياسية المتعلقة بالإجهاض في الولايات المتحدة، ممّا جعل أيّ نقاش يتعلق بتعديل جينات الأجنّة أمرا معقدا للغاية. وحتى بعد عام 2016، حين صدر تقرير من **الأكاديمية الأمريكية للعلوم والهندسة والطبّ**، توصّل إلى استنتاج بأنّه يمكن تبرير بعض التطبيقات لنقل الميتوكوندريا المعدلة لأغراض العلاج بالنسبة للذكور من الأجنة فقط، (للتأكّد من أنّ آثار ذلك لن تنتقل إلى الأجيال القادمة) لا يزال المنع التام لعلاجات نقل الميتوكوندريا المعدّلة ساري المفعول.

ولكن قبل صدور الرخصة البريطانية، وفي الوقت الذي لا تزال فيه هذه الطريقة ممنوعة في أمريكا، إتصل زوجان اردنيان يسكنان في نويورك بالطبيب جون *زانگ* بهدف إجراء العملية. ونظرا لأنّ نقل الميتوكوندريا المعدّلة لا يزال غير قانونيّ في الولايات المتحدة، وافق الطبيب *زانگ* أن يقوم بذلك الإجراء في المكسيك، التي لم يكن لديها أيّة تقييدات بشأن هذه الوسيلة. وفي الوقت

الذي أعلن فيه عن ولادة الطفل رسميّا في شهر سبتمبر من عام 2016، كان هذا الطفل الأردني يبلغ من العمر 6 شهور ويتمتع بصحة فائقة. عاد *زانگ* إلى نويورك بدون تبعات وأعلن مباشرة عن تأسيس شركة أطلق عليها اسم «داروين لايف» وذكر بأنّها، «ستدفع حدود تكنولوجيا مساعدة الإنجاب»[147]. في شهر يناير من عام 2017 رفع الأطباء في أوكرَنيا نواة جنين في مراحل نموه الأولى والمصابة بمرض الميتوكوندريا، واحلوا مكانها نواة سليمة معدّلة، فأدّت العملية لولادة طفل سليم خال من هذا المرض[148].

تتوفر لدى الأمّهات اللواتي يحملن مرض الميتوكوندريا ويعشن في مناطق قليلة يُسمح فيها بنقل الميتوكوندريا المعدّلة السليمة، خيارات كاملة. وبطبيعة الحال، يمكنهن دائمًا أن يتبَنّين أطفالا آخرين. ولكن لو أردن أطفالا من صلبهنّ، فإنّه بإمكانهن المخاطرة بالحمل ومن ثمّ بعد فترة 10 أسابيع يجري فحص الجنين، ويجابهن اختيار الإجهاض. أو بإمكانهنّ أن يستمررن ويلدن أطفالا ليعرفن فيما بعد إن كانوا يحملون جينات هذا المرض المميت. الخيار الآخر بالنسبة للأمّ هو أن تسمح بسحب بويضتها وإخصابها في المختبر ومن ثمّ يتم مسحها وتفحصها وفق نظام PGT[149]. لكنّ المشكلة هي أنّ مرض الميتوكوندريا لا يظهر تماما خلال مراحل نمو الجنين الأولى. وعليه فإنّ الجنين الخاضع لعملية المسح قبل زرع البويضة، ربّما يحمل جينات مرض الميتوكوندريا[150].

إذا كانت إحدى الأمهات في المناطق المشار إليها تريد أن تتأكّد بأنّ طفلها لن يحمل جينات هذا المرض، فعليها مبادلة السايتوپلازم المصاب في بويضتها قبل الإخصاب في المختبر أو خلال المراحل الأولى لنمو جنينها بعد إخصاب البويضة مباشرة، مع العلم بوجود 0.1% من تسلسل الحمض النووي أن يكون موروثا من الميتوكوندريا المعدّلة.

ولكن ماذا بشأن الأمهات اللواتي يعشن في مناطق من العالم، حيث تكون عمليات نقل الميتوكوندريا محرّمة أو غير موجودة إطلاقا؟ بإمكانهن طبعا أن يتبنّين أطفالا، وبطبيعة الحال يمكنهن المخاطرة وراثيا. بإمكانهن إجراء الإخصاب المختبري IVF أو استخدام PGT، إذا كنّ يسكنّ مناطق تبيح هذه الأساليب. ولكن لا يزال هناك خطر بأنهنّ سيورثن هذا المرض للأجيال القادمة من ذريتهن. بإمكانهنّ السفر إلى أوكرَنيا، لكن ذلك يتطلب كلفة وقد يسبب ازعاجا وربما غير مريح. الاختيار الآخر هو التلاحم والعمل سوية مع الأزواج والزوجات الآخرين، الذين يعاني أطفالهم من هذا المرض وتكوين جمعية للدفاع عن قضيتهم وجعل مسألة نقل الميتوكوندريا المعدّلة إجراء لا يخالف القانون في بلدانهم.

هذا هو فعلا ما حصل للجماعة، التي يعاني أطفالها من هذا المرض في الولايات المتحدة. «إنّنا نؤيد بقوة البحوث العلمية في ميدان المعالجة برفع الميتوكوندريا المصابة واستبدالها بأخرى معدّلة MRT، وإجراء حوار بناء من أجل التوصل إلى قبول هذا النوع من العلاج بالنسبة للأمهات اللواتي يحملن جينات هذا المرض والحمض النووي الخاص به mtDNA»، كما ورد في نداء **مؤسسة يتسبَرگ المتحدة الخاصة بمرض الميتوكوندريا**. وأضاف النداء يقول، «وإذا ظهر أنّ هذا الأسلوب العلاجي آمن وفعّال، فيجب توفرّه كبديل للعائلات التي توجد لديها طفرات خلل في mtDNA»[151].

وكدليل على سلامة وفاعلية نقل الميتوكوندريا المعدّلة في أماكن مثل الولايات المتحدة، فإنّها تستمرّ في النمو وتمارس ضغطا على الحكومات الأخرى لتوفير الأموال لأغراض البحوث، ليمكن في النهاية السماح بعلاجات نقل الميتوكوندريا وزيادة استعمال هذا الأسلوب في البلدان الأخرى. إنّ العاملين في الميدان السياسي سيواجهون موقفا صعبا لإقناع الأمّهات الخائفات من نقل هذا المرض القاتل لذريتهنّ، وعمل جماعات الضغط على هؤلاء وإقناعهم بالبراهين القاطعة حول سلامة هذه العلاجات وفاعليتها تحت مستوى عال من الرقابة الحكومية، كما في المملكة المتحدة. وبمرور الوقت سيصبح نقل الميتوكوندريا المعدّلة إجراء مقبولا وواسع الإنتشار ومتعلقا بتعديل الجينات الوراثية.

حين يحدث هذا فإنّ الآباء والأمّهات الخائفين من نقل الأمراض الجينية القاتلة إلى أبنائهم وبناتهم في المستقبل، سوف لن يقفوا مكتوفي الأيدي في حين تواجه ذريتهم احتمالات الموت الموروث. وبدلا من ذلك، سيطالبون بأنّ أكثر التكنولوجيا المتقدمة والمتعلقة بفحص الجينات وتعديلها يجب أن تُستخدَم لتحقيق التغيّرات المطلوبة، التي ستنقذ أطفالهم من عذابات الأمراض الوراثية. يتقدم العلم ويوفر احتمالات ممكنة جديدة لمراجعة الجينات وتعديلها لمنع حدوث الأمراض وتعزيز الصحة الجيدة لدى المواليد، وسيؤدي ذلك إلى زيادة طلبات الأولياء بشأن هذه القضية وغيرها من القضايا ذات العلاقة.

توجد لكلّ مرض وراثي فعّال شبكة اجتماعية تحاول التأثير على رجال السياسة. تصرف هذه الشبكات العديد من ملايين الدولارات سنويًّا لتؤثر على سياسة حكومة الولايات المتحدة. يُشار إلى أنّ كلّ 1000 دولارًا يُستثمر في هذا الخصوص يعطي مردودا قدره 25 ألف دولارًا في السنة

التالية على شكل مخصّصات إلى **معهد الصحة الوطنية** للاهتمام بشأن تمويل البحوث في مرض معين[152]. من الصعب أن نتصوّر أنّ الحكومة الأمريكية المدفوعة دائمًا بنشاطات جماعة الضغوط، تتهاون في تمويل البحوث والتجارب السريرية لإيجاد سبل لمعالجة الأمراض الوراثية، حتى تلك، التي ترمي إلى إحداث تعديلات وتغييرات في الجينات الوراثية في الأجنّة قبل زرعها في الأرحام.

ستزيد الخطوات الجريئة وإمكانية مسح الجينات وتفحّصها قبل زرعها من الوقود المطلوب.

في شهر إبريل من عام 2015، هزّ فريق من العلماء الصينيين، العاملين في جامعة صَن يات صَن في مقاطعة گوانزو، العالم حين اعلنوا انهم استعملوا **كرسپر** - كاس9 لإحداث تغييرات في الجينات البشرية خلال عملية الإخصاب المختبري للتخلص من الاضطرابات الدموية القاتلة، بتا - ثالَسِميا[153]. قاموا بإخصاب كلّ بويضة باستخدام حيمَنين، بدلا من الأمر العادي باستعمال حيمن واحد. كان معدّل الدقة في المسح منخفضا، ومع ذلك فإنّ هذا الاستعمال المباشر لتطبيقات نظام **كرسپر** - كاس9 على الحمض النووي لبويضات الأجنة البشرية قد تجاوز المعايير الأخلاقية في أذهان العديد من المراقبين. بعد فترة قصيرة وافق المراقبون في المملكة المتحدة على طلب تقدمت به *كاثي نياكان*، وهي باحثة في **معهد فرانسِس كرِك** في لندن. أرادت *كاثي* استخدام **كرسپر** لمسح الجينات في الأجنة البشرية، خاصة كيف أنّ الجين المسمّى OCT4، الذي ينظم تطور نمو الجنين، كخطوة أولى لمعرفة الأسباب المحتملة وراء مشكلة العقم. بعد شهرين، أعلن فريق آخر من العلماء الصينيين أنّهم استعملوا **كرسپر** لجعل البويضة الملقحة الجاهزة للزرع ذات مناعة عالية لمقاومة مرض الإيدز[154].

في شهر يوليو من عام 2017، فجّر العالم الأمريكي *شُكرات ميتالِپوف*، العامل في **معهد الصحة والعلوم** بجامعة أورِگن، موضوعا جدليا لأنّه كان أوّل باحث أمريكي يستعمل **كرسپر** - كاس9 لتعديل الجينات البشرية الخاصة بخلايا الجنس والجينات قبل مرحلة الزرع في الأرحام. استعمل المقصّ الجيني في الجهاز المذكور للوصول إلى حيمن رجل لديه خلل في جين MYBPC3، المسؤول عن تضخّم عضلة القلب. وهو مرض وراثي يمكن أن يؤدي إلى عجز مفاجئ في وظيفة القلب لدى الأطفال فيسبّب الوفاة. وحين عُدّل جين هذا الحيمن استُخدِم في إخصاب بويضات أخذت من 12 امرأة يتمتعن بصحة جيدة. نجم عن هذه التجربة ولادة 8 أجنة سليمة من ذلك المرض، أي بنسبة 66%. أعتُبِر هذا نجاح لم يُسبق له نظير. حين حاول فريق

ميتالِپوف تجربة ذات الشيء وحقنوا الحيمن غير المعدل و**كرسپر** - كاس9 بصورة منفصلة، كي يحدث مسح الحيمن في ذات اللحظة التي يقوم بها بإخصاب البويضة، ارتفعت نسبة النجاح إلى 72%. لكنّ هذه النسبة ما كانت مقبولة، فتمّ التخلص من كافة الأجنة خلال فترة 3 أيام، لكنّ ذلك لم يمنع الطلب على تعديل نوى الأجنة الوراثية والحمض النووي الخاصّ بها لدى البشر[155].

«قلنا دائمًا إنّ مسح الجينات وتفحّصها في السابق ما كان يجب أن يُجرى، بسبب كونها أنّها لا يمكن أن تتمّ بطريقة آمنة»، حسب ما صرّح به رِچَرد *هاينز*، الباحث في **معهد ماسَچوسِت للتكنولوجيا** لصحيفة نو يورك تايمز بعد إعلان نتائج تجارب *ميتالِپوف*. ثمّ أضاف، «سيظل هذا صحيحًا، ولكن يبدو الآن أنّه سيمكن إجراءه بطرق أكثر أمنًا في القريب العاجل»[156]. وحين يحدث هذا، فإنّ الطلب سيزداد على استخدام التكنولوجيا المتقدمة للقضاء على الأمراض الوراثية القاتلة، وسيجعلنا هذا قريبين من دخول عصر الجينات.

لا تزال السرعة المدهشة لنقل أدوات مسح الجينات وتعديلها من المختبرات إلى الحقول ومزارع تربية المواشي، والآن إلى المستشفيات وعيادات الإنجاب، تشقّ طريقها بوتيرة متصاعدة. ويُعلن في كلّ يوم تقريبا تطبيق جديد فيتوالى الناس على طلبه. إنّ الفوائد الحقيقية المستخلصة من هذه التقنيات، ستتغلب في النهاية على الشكوك، التي ما زال يتشبّث بها القلة من علماء الوراثة التقليديين.

من خلال زيادة إجادتنا والثقة في استعمال هذه التكنولوجيا، سنخلق عمليات وتطبيقات تذهب إلى أبعد من الرعاية الصحية، وسنلجأ إليها في تعديل جيناتنا وجينات أطفالنا بشكل متزايد وهام.

الفصل السادس

إعادة بناء العالم الحي

الموت جراء التعرض لفايرُس الإيبولا Ebola طاحن.

يشعر الفرد بضعف عام، شبيه بأعراض مرض الإنفلونزا. وحين يبدأ الفايرُس بإحداث التهابات في الخلايا فإنّه يؤدّي إلى انفجارها وانفجار الأوعية الدموية معها. يمرّ المصاب بحالة لا يمكن السيطرة عليها من الغثيان والإسهال والتقيؤ والصداع. تبدأ الخلايا بالنزف مسببة نزيفا لا ينقطع في كافة أنحاء الجسم. ثمّ يدخل المصاب في صدمة قبل أن يموت ميتة دموية بشعة، حيث تتدفق السوائل الحيوية من كافة فتحات جسمه.

حين تفشّى مرض الإيبولا في افقر مناطق أفريقيا، قضى الموت على نسبة 90% من الأشخاص الذين أصابتهم عدواه. وبفعل العناية الطبية الأفضل خلال عام 2014 حين تفشى المرض في غرب أفريقيا، انخفضت معدلات الوفاة إلى ما يقرب من 60%. الأشخاص الذين تنتقل اليهم عدوى هذا المرض هم في العادة أسرة الشخص المصاب، أو من يوفرون له العناية الطبية. إنّ التعرض إلى لعاب أو قيء أو بول أو براز ضحية الإيبولا، كفيل بانتقال عدوى هذا المرض القاتل.

لكنّ العلماء الذين اجروا دراسات على الناجين من تفشّي الإيبولا عام 2014 في غينيا، قد فوجئوا بأنّ مجموعة من النسوة، اللواتي رعين المرضى وتعرضن بشكل أو بآخر إلى فايرُس الإيبولا، كانت تبدو لديهن مناعة ضدّ المرض. تعرض البعض منهنّ للفايرُس في مرحلة مبكرة ونجون منه، ربّما هو الذي اعطاهنّ المناعة كي لا يُصبنَ به في مرحلة لاحقة. غير أنّ البعض الآخر لديهن أجسام مضادة، لأنّهنّ لم يتعرضن للإصابة بهذا الفايرُس من قبل. ماذا حدث؟ كان ذلك

هو السؤال الذي واجه العلماء. هل يمكن أن تكون بعض هؤلاء النسوة لديهنّ مناعة طبيعية ضدّ الإيبولا؟

ركّز العلماء على جين يحمل شفرة پروتين يُسمّى نايمِن پِك تايپ سي واختصارا NPC، الذي يستهدف الإيبولا حين يهاجم جسم الإنسان. وبغض النظر عن الإيبولا، فإنّ الأطفال، الذين يرثون نسختين من والديهما لهذا الصنف المتحول من هذا الجين، يموتون في العادة من مرض NPC.

بعض الأمراض الموروثة النابعة عن خلل في جين واحد مثل مرض هنتِنكتُن ومتلازمة مرفَن، هما الأكثر شيوعا. وهذا يعني الإصابة المؤكّدة بأيّ من المرضين إذا ورث الشخص ذلك الجين المنفرد وكلا الوالدين متماثلينِ في الطفرة. الأمراض الأخرى مثل مرض الخلايا المنجلية ومرض تاي- سايكس ونايمِن پِك تايپ سي NPC، كلها جميعا اضطرابات نادرة وراثيا. وهذا يعني أنّ الفرد يصاب بأيّ منها لأنّه يرث الجين من كلي الوالدين. ولكن في حالة الناقل المتنحّي لجين مرض الخلايا المنجلية، يمكن أن تكون لدى الفرد مناعة ضدّ الملاريا، حيث أشارت الدراسات الأولية عن أولئك النسوة في غرب أفريقيا عن وجود نسخة واحدة متحولة من جين NPC، وربّما يزيد هذا من مقاومة فايرُس الإيبولا.

لقد تطرقنا من قبل إلى الجينات المنفردة single- gene وغيرها من الطفرات، التي يمكن أن تسبّب أمراضا. ولكن يجدر القول أنّه توجد بعض الطفرات الجينية التي يمكن أن تلحق الأذى، كما توجد أيضًا بعض الطفرات الجينية المنفردة التي تحقق منافع للإنسان.

وكما تظهر في حالة الإيبولا، تكون هذه الجينات نفسها في بعض الأحيان ضارة في ظرف معين، ونافعة في ظرف آخر. لا يزال العلماء منذ الحقبة الماضية يبحثون للعثور على طفرات الجينات الأحادية والاحتمالات الهائلة لمساعدة البشرية، على الأقلّ ضمن قدرات عالمنا، الذي نعيشه الآن. لكنّ العثور على هذه الطفرات الجينية ليس بالأمر السهل.

من الأسهل جدّا تحديد المرض من خلال مراقبة أعراضه، مقارنة بتحديد المرض لدى الناس المصابين به بسبب طفرات جينية معينة، لأنّ الأعراض غير موجودة. ولكن من خلال التعرف على النسوة ذوات القدرة الاستثنائية، من اللواتي لديهن مناعة طبيعية ضدّ الإيبولا، ومن

خلال المعلومات عن مئات الآلاف وربّما الملايين من الجينوم والسجلات الصحية بغية التوصل إلى إيجاد العلاقة بين الجيل البديل النادر ومقاومة أمراض معينة، فإنّ الباحثين توصلوا إلى كنز من الذهب.

لنأخذ مثلا *دَيفِد الچولر*، الباحث في **معهد برَود** المشترك بين جامعة هارفرد ومعهد ماسَچوسِت للتكنولوجيا، والذي استخدم عينة من الأفراد كبار السن وآخرين من ذوي الوزن الزائد، الذين يُتوقع أن يكونوا مصابين بمرض السكّري صنف2، لكنّهم سليمون منه. بعد إجراء التسلسل الجيني لهؤلاء لمعرفة اختلافهم عن عينة من الأفراد المصابين بالمرض وهم كبار السن ووزنهم زائد عن اللزوم. توصّل *الچولر* إلى أنّ طفرة واحدة في الجين المسمّى SLC30A8، قد جعل عينته وبنسبة 65% منهم قادرين على تنظيم مستويات الإنسولين في أجسامهم، ممّا ضمن لهم السلامة من الإصابة بهذا المرض[157].

وجدت دراسة أخرى أنّ 1% من مجموع سكان أوروپا الشمالية يحملون طفرة في جينهم المسمى CCR-5، وهو ما يمنحهم مناعة ضدّ الإصابة بمرض الإيدز[158]. وفي دراسة أخرى أجريت على عينة من كبار السنّ، وجدت أنّ 1 من كلّ 650 شخصا لديهم طفرات في جينهم المسمّى NPC1LI يتمتعون بنسبة 50% من الإصابة بالنوبات القلبية مقارنة بأشخاص من نفس العينة ممّن يفتقرون إلى تلك الطفرات[159].

نظرا لأنّ إحداث تغييرات صغيرة في الجينوم البشري أسهل وأكثر أمنا من إحداث تغييرات كبيرة، فإنّ أيّ تحديد لطفرة جينية يمكن أن يكون لها تأثير حميد، يزيد من الدوافع التحريضية لمسح الجينات وتفحّصها بحثا عن تلك الطفرات الصغيرة الموجودة في أجسامنا أو أجسام أطفالنا في المستقبل. نظرا لأنّ نظامنا البايولوجي يمثل التوازن الدقيق للأولويات التي لعبت دورها طيلة بلايين السنين، فإنّ عددا قليلا من الجينات قد يكون له تأثير كبير يجعل منافع إضافتها أو رفعها يفوق مقدار الخطر المتوقع عند القيام بعملية التغيير هذه. ولكن كما أشار مرض الإيبولا وغيره من الحالات الأخرى، فإنّ الأمر بالتأكيد يستحقّ عناء النظر في إجراء هذه العمليات.

واعتمادًا على ما صرّح به جورج چَرچ من جامعة هارفرد، فإنّ القائمة الأولية لهذه الجينات المنفردة، التي يمكن التلاعب بها لغرض الحصول على منافع خاصة، تشمل الأمراض المتعلقة بزيادة قوّة العظام LRPS والعضلات الهزيلة MTSN وقلة الشعور بالألم SCN9A وقلة

افرازات الجسم للروائح الكريهة ABCC11 ومقاومة الفايرُسات CCR5, FUT2 وقلة الإصابة بأمراض الشريان الإكليلي PCSK9 وقلة الإصابة بألزهايمر APP وقلة الإصابة بالسرطان GHR, GH وقلة الإصابة بمرض السكّري صنف 2 SLC30AB وقلة الإصابة بالسكّري صنف1 IFIHI، كما تظهر في الشكل التالي حسب رموزها:

GENE	IMPACT
LRP5	Extra-strong bones
MSTN	Lean muscles
SCN9A	Insensitivity to pain
ABCC11	Low odor production
CCR5, FUT2	Virus resistance
PCSK9	Low coronary disease
APP	Low Alzheimer's
GHR, GH	Low cancer
SLC30A8	Low type 2 diabetes
IFIH1	Low type 1 diabetes

Source: "A Conversation with George Church on Genomics & Germline Human Genetic Modification," The Niche Knoepfler Lab Stem Cell Blog, March 9, 2015, https://ipscell.com/2015/03/georgechurchinterview/.

إنّ إحداث تغييرات بسيطة في الجينات المشار إليها في أعلاه ليست طريقنا الوحيد. الجينات، كما بدأنا نفهم، مجموعة من التعليمات للخلايا تخبرها بإنتاج بروتينات تقوم بمهام مطلوبة. بالرغم من أهمية ما تقوله هذه الجينات، فإنّ ما تفعله الخلايا هو الأكثر أهمية في الواقع. وعليه، حتى لو وجدنا جينا معيّنا يقوم بعمل نَحُسّ أنّه جيد أو سيء، فإنّنا لا نحتاج بالضرورة أن نغيّر ذلك الجين وما يقوم به. يكون من الأفضل في بعض الحالات أن نتوخى الأمن والسهولة وقلة الكلفة بواسطة تطوير دواء يجعل الخلايا تعمل ما نريده، رغم وجود الطفرة «السيئة» أو أنّ الجيدة منها لا وجود لها.

ومع ذلك، ستكون هناك طفرات بعضها نافع والبعض الآخر ضارّ، ولا يمكن اللجوء إلى هذا النوع من المعالجة الخاصة بها، ومثال على ذلك مرض الميتوكوندريا. قد تكون هناك طفرة نراها ضارة ويريد من يحملها أن يتخلص منها كي لا تنتقل إلى الأجيال القادمة. وقد يودّ بعض

الأهل أن يغيّروا الخط الجرثومي لأطفالهم في المستقبل وإكسابهم المناعة ضدّ مرض الإيدز واختزال فرص مواجهة انحسار القدرات العقلية مع تقادم السنّ أو الاستفادة من طفرات جينية متوحدة لتأكيد منفعة خاصّة.

* * *

حين نتأمل إمكانية مسح وتفحّص جين واحد أو عدد صغير من الجينات قبل زرع الجنين في الرحم، فإنّ السوال الأوّل، الذي سيسأله الآباء والأمّهات هو إنْ كانت هذه العملية آمنة. وفي هذا الوقت، فإنّ الجواب على ذلك هو «لا». لا يزال **كرسپر** تكنولوجيا غير مكتملة، ومن أكبر المخاوف حول الجيل الأول من **كرسپر** هو أنّ مناطق شرخ الجينوم قد تمتد لتشمل أجزاء لم يقصدها العلماء أو الأطباء.

ظهر شرخ/قطع خارج الهدف بشكل بالغ خلال عملية مسح وتفحّص الخلايا البشرية. تناولت دراسة أجريت عام 2013، واستعمِل فيها **كرسپر**، وخرج فيها القطع عن الهدف المبتغى في مسح الخلايا البشرية وتفحّصها لغرض التطبيقات العلاجية، فتبيّن أنّنا بحاجة إلى تطوير هذا الجهاز والوسائل القائمة عليه بشكل هامّ «لكي تُستخدم بشكل آمن وعلى المدى البعيد لمعالجة الأمراض البشرية»[160]. إذا كانت تجاوزات القطع آمنة ومحدودة دائمًا، فإنّ أيّة تغييرات يحدثها **كرسپر** في مسح الجينات وتعديلها داخل جسم الإنسان لن تكون أمرا صعبا. لكنّ هذا هو ليس واقع ما يحدث. إنّ الطفرات المُستحثّة عن طريق استخدام **كرسپر**، يمكن أن تقود إلى طفرات سرطانية. وهذا هو السبب الذي يجعل المنظمين regulators لهذه العمليات حول العالم حذرين للغاية في إعطاء موافقاتهم على مسح الجينات البشرية وتفحّصها.

صعق فريق البحوت الصيني العالمَ حين اعلن عن استخدامه لنظام **كرسپر** لإحداث تغييرات في الأجنّة البشرية عام 2015، خاصة وأنّه أشار إلى مستوى ضئيل من الدقة. فمن بين 28 بويضة مخصبة حُقنت باستخدام نظام **كرسپر** - كاس9 المصمم لمسح الجينومات، حمل عدد قليل فقط التغيرات الجينية المطلوبة. إنّ نسب نجاح المحاولات الضئيلة في عالم النبات والديدان والذباب والفئران، قد تكون مقبولة، لكنّها غير مقبولة بالنسبة للبشر[161].

إنّ الطريق للوصول إلى مستوى الموثوقية، بحيث يمكن استخدام **كرسپر** بشكل آمن داخل أجسام البشر، يتطلب أن تكون المسألة خطيّة. فمثلا، الدراسة الشهيرة التي اجريت عام 2018 وجدت أنّ الجين المنفرد للإنسان والمسمّى p53 قد حال دون السماح لعمل **كرسپر** في بعض خلايا الجسم، باعتباره جزء من ميكانيكية المناعة الطبيعية ضدّ الطفرات الخطيرة مثل السرطان[162]. من إحدى الطرق للإلتفاف على ذلك هو تعطيل الجين p53 من القيام بواجبه. غير أنّ هذه الخطوة ستشكّل خطورة جديدة وهي زيادة احتمال الإصابة بالسرطان. كما نُشرت دراسة أخرى عام 2918 في مجلة نَيچَر بايوتكنولوجي، وجدت أنّ 20% من المحاولات الفاشلة، التي استهدفت تغيير الحمض النووي، كان هذا أكثر من المتوقع في السابق حين تمّ تجريب **كرسپر** - كاس9 على الفئران[163].

العلماء الذين رغبوا في معالجة هذه المخاوف قد ركّزوا على دقة **كرسپر** في مسح الجينات وتعديلها، فحققوا نجاحا ملحوظا. لقد اكتشفوا إنزيمات جديدة تلتصق بقوة وبدقة في الجينوم وتحدث فيه فتحة بدلا من **كرسپر** - كاس9. الأنواع الجديدة منه تشمل **كرسپر** - cpf1 و**كرسپر** - كاس3 و**كرسپر** - 13 و**كرسپر** - كاسX و**كرسپر** - كاس4، ولا تزال تتكاثر. كما تمّ استخدام لوغارتيمات جديدة لتسهيل عمليات **كرسپر** للمسح والتعديل، وزيادة مستوى أداء هذا الجهاز.

أفاد الباحثون في عام 2017 عن استعمال طرق جديدة لتغيير حروف النيوكلوتايد زالحمض النووي وRNA، بدون إحداث شرخ/قطع في جدار الجينوم[164]. يتطلب **كرسپر** الأصلي إحداث شرخ في السلم الحلزوني للحامض النووي. أمّا الطريقة الجديدة فإنّها تغيّر الجينات دون إحداث شروخ في ذلك السلم على الإطلاق.

وبغية التوصّل إلى ذلك، قام العلماء بخداع ذرات الحمض النووي وجعلها تعيد ترتيب نفسها على هيئة أزواج على السلم، بحيث تختلف عن الترتيب الذي دأبت عليه. لنتذكّر أنّ الزوج A يقابل الزوج T والزوج C يقابل الزوج G. إذا اعتقدت الخلية أنّ A هو C، مثلا فإنّه سينتظم مع G بدلا من T. وعليه سيتغيّر الجين والكيفيّة التي يعبّر فيها عن نفسه، وبالمقابل يتمّ تحاشي الريبة الناجمة عن شرخ الحمض النووي.

إنّ هذه الطريقة نافعة بشكل خاصّ لأنّ المتغيّرات التي تتراوح بين 32000 من مجموع ما يقرب من 50000 في الجينوم البشري والمرتبطة بالأمراض تكون نتيجة للمبادلة والحذف والإدخال في الجين الواحد[165]. أطلِق اسم ABE على الصورة الجديدة من **كرسپر**، والذي يعمل بنسبة 34% إلى 68% في ذات الوقت مع نسبة أقلّ من 1% من الخلايا، التي تظهر أدلة على وقوع اخطاء إضافية. ويُعتبَر هذا تحسنا كبيرا، إلّا أنّه لا يصلح أن يُستخدم داخل جسم الإنسان[166]. أفاد الباحثون الصينيّون في شهر أغسطس من عام 2018 أنّهم عدّلوا قاعدة الجينوم الذي يحمل طفرة متلازمة مَرفَن في 16 جينا بشريّا من أصل 18 جينا قبل زرعها[167]. ورغم أنّه لم يتمّ زرع أيّ من تلك الأجنة المعدّلة لأسباب قانونية وأخلاقية، فمن الواضح بيان الوجهة التي ستتوجه التكنولوجيا نحوها.

إنّ تكنولوجيا مسح القاعدة وتعديلها Base-editing قد استعملت لزيادة الدقة وسلامة عملية مسح الجينات وتعديلها خلال عملية سُمّيت CRISPR-SKIP. يدفع مسح قاعدة واحدة وتعديلها بواسطة هذه الطريقة الخلايا إلى «التخطي» وعدم قراءة «السلسلة» المستهدفة من جينات ترميز البروتين كاملة. وتشير الدلائل الأولية أنّ كرسپر - التخطي يمكن أن يُستعمل لتعطيل الطفرات المسببة للأضرار في داخل الجينوم مع حصول تأثيرات ناجمة عن المحاولات الخارجة عن الهدف باستعمال أنظمة كرسپر الأخرى[168].

إضافة إلى استخدام كرسپر في مسح الجينات وتعديلها، تمّ إنجاز تقدّم كبير في استخدامه لمسح وتعديل العلامات الجينية، التي تنظم تلك الجينات وكيف يقودها RNA بحيث تتحوّل المعلومات الجينية إلى تعليمات موجهة للخلايا[169]. إنّ هاتين الطريقتين معا تجعلان تغيير الجينات والأشكال التي تكون عليها أكثر دقّة.

من الصعوبات الأخرى التي يجب تذليلها لأجل جعل مسح الجينات وتفحصها في الأجنّة البشرية قبل زرعها آمنة، ويتم فيها انتشار التغيرات الجينية بشكل متفاوت داخل الخلايا، وهو ما يسميه العلماء موسايزِم «الفسيفساء» Mosaicism. يمكن أن يقود التوزيع المتفاوت في طفرة الجين المعدّلة إلى نمو غير طبيعي للجنين في الرحم، وغيره من المشكلات الخطيرة. لكنّ هذا الموضوع الصعب بدأت معالجته تدريجيا. أظهرت الدراسات الحديثة أنّ استخدام كرسپر بالسرعة

الممكنة بعد إخصاب البويضة ومسحها ومسح الحيمن قبل الإخصاب، يقلل من فرص حدوث فسيفساء الخلية[170].

إثر إعلان *شكرات ميتالِيوف* وزملائه عن أساليبهم الجديدة في تخفيض احتمالات بروز هذا المشكلات[171]، أصدرت مجموعة أخرى من علماء الوراثة المرموقين بيانا في الشهر التالي، أثارت فيه أسئلة حول دقة هذه البحوث. «من الضروري أنّ استنتاجات تخصّ القدرة على تصحيح الطفرات في الأجنّة البشرية، يجب أن تكون مسندة بالشواهد»، حسب ما كتب *دايتر أجلي* وجورج چَرچ وزملائهما في بيان يتعلق باستنتاجات *ميتالِيوف* وبأنّها بعيدة عن الإثبات. «وفي حالة عدم توفر مثل هذه المعلومات، فمطلوب من مجموعات الطب الحيوي وبالضرورة المرضى نتيجة الطفرات الجينية، الذين تهمهم هذه البحوث، بأن يكونوا على بيّنة بالتحديات العديدة القائمة في ميدان تعديل الجينات»[172].

ارتفعت وتيره هذه النقاشات بين قادة البحوث الخاصة بالجينات في شهر أغسطس من عام 2018، حين نشرت **مجلة نَيچَر** في نفس العدد نقدين لاذعين لبحوث *ميتالِيوف* وفريقه المكوّن من 31 باحثا حول العالم[173]. بالرغم من أنّ كافة العلماء يتفقون على أنّ قدرتنا أن نمسح الأجنة البشرية ونتفحّصها قبل زرعها في ازدياد، فإنّ النقاش لا يزال دائرا فيما إذا كنا مستعدّين بعد لاستخدام تطبيقات هذه التكنولوجيا على الأجنّة البشرية المنوي زراعتها في أرحام الأمّهات.

وللمرة الثانية فإنّ الكلمة الهامة هي «بعد».

إذا كان المنطق هو ما يقودنا، فإنّ الناس في شعور متزايد من الراحة بصدد مسح جينات الأجنّة وتعديلها، حين يتوافق معدل الخطأ في مسح الجينات وتفحّصها مع معدل الخطأ في مسألة الحمل الطبيعي. وكما رأينا في موضوع السيارات ذاتية القيادة، فإنّ حقيقة استخدام أيّة تكنولوجيا جديدة يحتاج أن تكون أكثر أمنا من السيارات المستعملة حاليا، كي يتقبلها الناس، والمسألة مسألة وقت فقط. وعلى الأقلّ بالنسبة للعملية التقنية في حصر أيّ عدد محدّد من مسح الجينومات، فإنّ التوصّل إلى المعيار المطلوب سيكون قريب المنال. وحتى يحصل هذا، يبقى مسح الجينات وتفحّصها في الأجنّة البشرية قبل زرعها وكما البويضة والحيمن، سيكون هو الدليل على حمل الاضطرابات الجينية، من أجل حصول الوالدين على طفل من صلبهما، سليم من تلك الاضطرابات الوراثية. إنّ مثل هذه الحالات تتضمّن بعض الخلل في الكروموزوم Y، وأنّ الأمراض الوراثية

مثل هُنتِنكُتُن، يكون زايگوت أحد الوالدين متماثلا homozygous. وفي الحالات الوراثية النادرة يكون كلا الوالدين متماثلا في ذلك الزايگوت[174].

من الاستخدامات المبكرة لجهاز كرسپر المثيرة للجدل، تلك التي ادّعى فيها فريق صيني أنّه عدّل جينا واحدًا هو CCR5 من الأجنة البشرية قبل زرعها لتوأم بقصد حمايتهما من الإصابة بمرض الإيدز، وذلك في أواخر شهر نوفمبر من عام 2018. بالرغم من الإدانة الشاملة من قبل العديد من العلماء والمهتمين بأخلاقية المهنة في الصين وحول العالم، فقد كانت تلك هي المحاولة الأولى على الإطلاق لمسح الجينات البشرية وتعديلها. شكّلت هذه المحاولة نذيرا للوجهة التي تتجه إليها هندسة الجينات في المستقبل[175].

ولكن مع تزايد الثقة بالإخصاب المختبري IVF، فإنّ اختيار الأجنة ومسح الجينات المنفردة وتعديلها قبل زرعها، تبدو وكأنّها أمر واقع لا محالة. غير أنّ آفاق مسح وتعديل بعض الصفات الوراثية المعقدة ستظل أكثر بُعدا.

وكما رأينا في الصفات الوراثية المعقدة مثل الطول والذكاء والشخصية، فغالبا ما تكون نتيجة تفاعلات لمئات أو ربّما آلاف الجينات، وكلّ منها يؤدي وظائف متعددة ويتفاعل مع أجهزة الجسم الأخرى والبيئة دائمة التغيير حولنا[176]. طرحت مجموعة من الباحثين في جامعة ستانفرد حديثا نظرية مفادها أنّ أغلب الأمراض الجينية والصفات الوراثية ليست فقط متعددة المولدات Polygenic، تتأثر بعدد من الجينات، لكنّها بدلا من ذلك أومنيجِنِك Omnigenic. تطرح هذه الفرضية أنّ الصفات تتأثر ليس فقط بالمساهمة المنهجية للعديد من «الجينات الأساسية» وهي الجينات، التي تظهر خلال الدراسات حول الإرتباطات الجينية الواسعة، ولكن أيضًا بشبكة من الجينات الهامشية غير المترابطة[177]. إذا كان الأمر كذلك، فإنّه سيجعل فهم الأمراض المعقدة والصفات، أكثر تعقيدًا ممّا كنّا نتصوّر في السابق.

كلما ازداد عدد الجينات المؤثرة في صفة معينة، كلما ازدادت صعوبة مهمة الحسابات، بحيث يصبح ممكنا معرفة العلاقات بين نماذج بعض الجينات، والطريقة التي تعبّر فيها عن نفسها. وكلما ازدادت صعوبة فهم المهام العديدة التي يقوم بها كلّ جين في تعقد وترابط النظام البيئي للجينوم، كلما ازدادت تعقيدًا عملية مسح وتفحّص الجينات الأكبر، بقصد التأثير على الصفات المعقدة، دون إلحاق الضرر غير المقصود في بقية الجينوم.

يجب أن نفترض بأنّ الأنظمة البيئية المترابطة الخاصة بجسم الإنسان هي دائمًا أكثر تعقيدًا ممّا نعتقد. كما أنّه من المنطقي أن نتفهّم أنّ أمراضنا وصفاتنا الوراثية تمتد على رقعة واسعة من الأسس الجينية، تتفاوت ما بين الأمراض الناجمة عن طفرة في جين واحد مثل مرض هَنتِنگتُن وجين واحد يتكفل بالصفات الأخرى، مثل الإفراط في افراز الشمع السائل من الأذنين إلى الأمراض والصفات المعقدة مثل مرض القلب التاجي ونموذج شخصية الفرد من جهة أخرى[178]. ولربّما يكون نموذج Omnigenic هو اعقد القضايا في هندسة الجينات، التي نطمح إليها والتي حتى لو كانت حقيقة ممكنة في بعض الحالات، فإنّها لا تنطبق تماما على كافة الأمراض والصفات الوراثية الأخرى.

لكنّنا لن نحتاج أيّ شيء يقترب إلى مستوى متعدد المولدات كي نفهم الناس حين يختارون من بين عدد من اجنتهم الطبيعية غير المعدّلة خلال عملية الإخصاب المختبري وعملية PGT. إنّ زيادة تفهمنا للنماذج الجينية المعقدة، حتى تلك المتعددة المولدات، ستكون كافية لإخبار الآباء والأمّهات، حتى قليلي الثقافة منهم، حول أيّة أجنّة يختارونها لتزرع في الأرحام. وكلما ازدادت معرفتنا الناقصة عن هذه الصفات المعقدة، ستزداد ثقتنا في اختيار الجينات المعدّلة، التي ينشأ منها أطفالنا في المستقبل.

* * *

بالنسبة للأشخاص المتدينين والآخرين غيرهم ممّن يعتقدون بمفاهيم الروح والنفس spirt & soul، فإنّ كيان الإنسان مسألة معقدة بلا حدود. وفي رأي هؤلاء، حتى أدقّ الاختبارات الطبية لا يمكن أن يحلّ بالنسبة لهم أسرار عالم الأرواح أو الترابط العميق بين البشر وفكرة الإلهية. بالنسبة لشخص مثلي ممّن يعتقدون أنّنا تطوّرنا من المايكروب، فإنّ الإنسان كيان مكوّن من خلية واحدة تطورت بشكل لا يتصوّره العقل طيلة 600 مليون عامًا بواسطة الطفرات العشوائية وعملية الاختيار الطبيعي. إنّنا لسنا فقط كائنا معقدا بلا حدود، بل أنّنا معقدون للغاية. وهناك فرق بين الاثنين. إذا كنّا معقدين بلا حدود، فإنّنا لن نفهم حالنا. ولكن إذا كنّا معقدين للغاية، فسيأتي وقت تستطيع فيه آلاتنا المتطورة أن تتغلب على مسألة تعقيدنا.

نستطيع الآن أن نتفهّم بعض الكائنات البسيطة بشكل جيّد، لأنّ أدواتنا المتطورة تزداد كفاءة لفهم مسألة تعقيد البايولوجيا الخاصة بتلك الكائنات. أمّا بالنسبة لبايولوجيا الإنسان، فما زالت معقدة

بشكل كبير يفوق فهمنا أو الأدوات التي نستعملها لفهم تلك البايولوجيا. غير أنّ هذا ليس دقيقا في كافة الأحوال. حين تتقدم معرفتنا وتتطور آلاتنا، تصبح قضية تعقيدنا مفهومة باستخدام أدواتنا للغد، وبأنّنا كائن بسيط، حتى في ضوء آلاتنا الحالية.

لكي نحصل على لمحة عن شعورنا حين تبدأ معرفتنا وأدواتنا تجتاز تعقيد البايولوجين البشرية، وماذا يعني ذلك، نحتاج فقط أن نتأمّل بسرعة فهمنا للخلية الواحدة وكيف نمت ونتجت عنها الكائنات البسيطة.

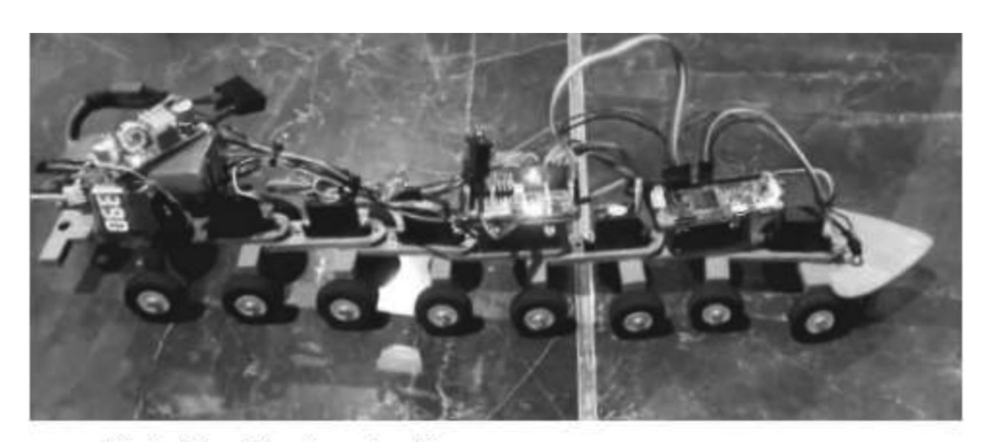
أحسن مثال على ذلك الديدان المسمّاة C-Elegans. إنّ حجمها لا يتجاوز حجم فاصلة الكتابة، وتبلغ دورة حياتها أسبوعين فقط. يوجد لديها جهاز عصبي بدائي ولها دماغ وتتكاثر بشكل سريع، ولربّما هي أبسط الكائنات، التي تشترك مع البشر في العديد من جيناتها. إنّ هذه الصفات إضافة إلى جسمها الشفاف، يجعل من السهل مراقبة ما يجري بداخلها، ممّا يجعل هذه الكائنات الصغيرة أفضل أداة لبحث مختلف المواضيع، وجعلها نموذج الكائن، الذي يُعتمَدُ عليه في الغالب لإجراء الدراسات العلمية.

قام العلماء خلال الحقب الماضية بتجويع ديدان سي- إلِگنز وتعريضها للبرودة والحرارة ليدرسوا تأثير تلك المتغيّرات عليها. كما تفحّصوها تحت عدسات المجهر المتقدمة وأخضعوها للدوران السريع في أجهزة الطرد المركزي وعرّضوها للمضادات الحيوية واستهدفوها باشعة ليزَر الدقيقة لإزالة خلايا معينة، وراقبوا البروتينات الخاصّة بها، كما أنّهم عزلوا وكبّروا جيناتها فرادا لفحصها بشكل أقرب.

اجتمعت في عام 2011 نخبة من العلماء الطموحين وأسسوا مشروع **أوپنوورم** OpenWorm، وهدفه بناء شبكة خاصة بالبحوث التي تجري حول العالم لدراسة دودة سي- إلِگنز. كانت تلك محاولة عامة لفكّ شفرة كيفية عمل هذه الديدان[179].

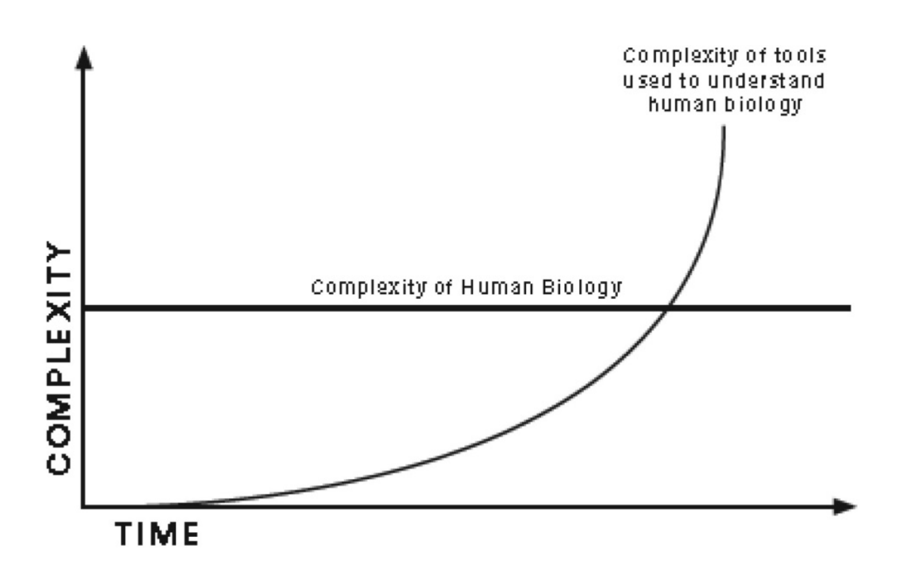
تمتلك دودة سي- إلِگنز دماغا مكوّنا من 302 خلية، مقارنة بالدماغ البشري، الذي يحتوي على 100 بليون خلية. وضع العلماء خارطة لدماغها من خلال رسم بياني فيه مفاتيح للإتصال تظهر كيف يعمل دماغ هذه الدودة. في خطوة لمحاكاة دودة سي - إلِگنز في هويتها الافتراضية، قام الباحثون في مشروع **أوپنوورم** بترجمة نوترَنات neutrons هذه الدودة إلى برامج كومپيوتر

لتحريك كائن آلي robot صغير، حيث تقوم نوترنات الحركة والأنف وأجزاء الجسم الأخرى المتكافئة بعملها[180]. حين أعطيت الإشارة بدأت الدودة الآلية واجزاؤها تتحرّك بدقة متناهية مدهشة، كما لو كانت دودة حقيقية، كما تظهر الصورة في أعلاه. لقد تحولنا من القليل إلى العميق في فهم كيفية عمل هذه الدودة خلال العقود القليلة الماضية بسبب النمو المتطور لأدواتنا، الذي ساعد على نمو تطوّر فهمنا.



The OpenWorm Robot, Source: OpenWorm

إنّ الانتقال من الوضع الذي نحن فيه لمعرفة بايولوجيتنا، إلى النقطة الأخرى حيث نكون مساوين لقريبتنا الدودة سي- إلِگنز، مرهون بتطور معرفتنا وتطور الآلات لوضع خارطة، كما حصل لها. وهذه خطوة دخلت مرحلة البناء. إنّ **أطلس الخلايا البشرية**، وهو منصّة للتنسيق تعمل على تكامل البيانات عن بايولوجية الإنسان حول العالم. يوفر هذا الأطلس «مجموعة من الخرائط المرجعية لكافة خلايا الإنسان»، وستتوسّع هذه بمرور الزمن حين تصبح الأدوات أكثر قوّة وتتضاعف باستعمالها معرفة الباحثين[181]. في الأيام المبكرة الأولى، كان حجم تعقيدات جسم الإنسان يقف شامخا أمام قدرات أدواتنا المتواضعة ومعرفتنا المحدودة. لكنّ هذه ستتغيّر تماما وبكلّ وضوح بمرور الزمن، كما نرى في المخطط التالي.



حافظت بايولوجيتنا على تعقدها طيلة فترة ملايين السنين الماضية، لكنّ تطوّر أدواتنا واتساع قدراتها، يتقدّمان بمعدلات متسارعة.

الفكرة الأساسية في التغيّرات المتسارعة هي أنّ الابتكار يولّد ابتكارا آخر. وكلّما كثرت وتحسّنت أدواتنا التي نطوّرها، يكون بإمكاننا أن ننظم أنفسنا بطريقة أكفأ واشد تأثيرا، وينعكس ذلك أيضًا على ارتباطنا مع بعضنا البعض. وكلما ازدادت أفكارنا، كلما تحسّن موقفنا لابتكار آلات أفضل وازداد تنظيمنا وترابطنا، يصبح بإمكاننا أن نأتي بأفكار أكبر ممّا قدّمنا في الماضي. وهذا هو السبب الذي تطلب مرور حوالى 12 ألف عامًا لنتحوّل من مجتمع زراعي إلى مجتمع صناعي، وتطلب الأمر حوالى 200 عامًا فقط، كي نتحول من مجتمع صناعي إلى مجتمع عصر الإنترنَت. تهيء كلّ ثورة تكنولوجية لثورة أخرى بعدها، ويصبح الوقت بينهما أقصر ويكون التأثير أكبر. أطلق *رَي كورزوَيل* على هذه الظاهرة اسم «عوائد قانون التسارع»[182].

تنبأ *كورزوَيل* عام 1999 أنّ مقدار ما حققته التغيّرات التكنولوجية في القرن العشرين بكامله يمكن تحقيقها خلال 14 سنة الأولى من القرن الواحد والعشرين. اقترح أنّه حين تتضاعف الابتكارات فإنّ مقدار التغيرات في القرن العشرين سيتطلب 7 سنوات لو بدأنا بها عام 2021، وأنّ مقدار التغير الذي حدث خلال القرن العشرين سيتطلب سنة أقلّ فيما بعد التاريخ المذكور. وفي النهاية، يكون معدل التغيير في القرن العشرين مساويا لفترة انتقالنا من عصر العربات، التي تجرّها الخيول إلى عصر المحطة الفضائية العالمية، وسيتطلب ذلك بضعة أشهر[183].

منذ ابتكار معالج المعلومات microprocessor في مطلع السبعينات، تزايد هذا التسارع وفق **قانون مور** Moore القائم على ملاحظته بأنّ قوّة الكومبيوتر تتضاعف تقريبا كلّ سنتين دون أن يؤدي ذلك إلى ارتفاع الكلفة. وهذا اتجاه استمر لمدة نصف قرن. وبسبب **قانون مور** هذا فإنّنا نتوقع أنّ الهاتف المحمول (الذكي) سيكون أخفّ وازنا واسرع أداء مع ظهور كلّ جيل منه. غير أنّ هذا أقلّ ما نتوقعه في هذا المجال.

لقد اعطتنا ثورة الإنترنت عمليّا مجالات مفتوحة للحصول على المعلومات والتواصل بين بعضنا البعض، وتأسيس شبكات للتواصل بين الأفراد المثقفين والعاملين معا لإيجاد حلول لسلسلة من المشكلات. وهذا أبعد بمقدار ألف مرّة وأكثر إبداعا ممّا لو عمل كلّ منّا منفردا وفي عزلة عن الآخرين. ونتيجة التعاون مع وبين المهتمين بالذكاء الاصطناعي AI، فمن المتوقع أنّ هذه المجموعة من الناس ستكون لديها إمكانية للابتكار أكثر من ألف شخص يتصلون مع بعضهم البعض. وكلما توسّعت قدرات الذكاء الاصطناعي، فإنّ الشكل المستقبلي للذكاء الخارق قد يفوق القدرات المتطورة لكافة البشر مجتمعين. وهنا يمكن أن تبرز إمكانات جديدة لإعادة تشكيل الأجناس والعالم بكامله. وبمرور الوقت ستصبح القضايا بالغة الصعوبة سهلة، والأشياء التي نراها اليوم معقدة، ستكون بالنسبة إلى أدواتنا وقدراتها، قضايا يسيرة.

* * *

حين نتعاون اليوم كأجناس، فإنّنا نتحرّك وفق الطيف المتوفر من وضع الأسس التكنولوجية لهندسة الجينات البشرية إلى إيجاد التطبيقات الأولية لتصوّر إمكانيات المستقبل وتحويل ذلك التصوّر إلى حقيقة. حتى أساطير الأولين أصبحت بشكل غريب حقائقنا الجديدة. إنّ مسألة دمج الإنسان بالحيوان مسألة موجودة في اقدم الأساطير البشرية وهي أحسن مثال على ذلك. فكلمة **كِميرا** Chimera (الكائن الخرافي) جاءتنا من الأغريق، وتعني المعزة. في الأساطير الإغريقية، نجد **الكميرا** كائن هجين من عدة حيوانات مختلفة، عادة أسد برأس معزة وأحيانًا ذيله على شكل أفعى. ورد وصف في إلياذة هومر «بأنّه كائن أزلي وليس بشرًا في مقدمة جسمه أسد وفي مؤخرته أفعى وما بينهما معزة»[184]. وفي جحيم دانتَ، يمثل **گِريون** صورة **كميرا** في القرون الوسطى، «الوحش ذو الذيل المنتصب... الوجه وجه إنسان... والجذع كالأفعى». وردت هذه الفكرة في كافة الحضارات القديمة. **چيلِن** في الصين مخلوق أسطوري برقبة زرافة ورأس وعل بقرون طويلة

وتغطي جسمه قشور كقشور السمك. وهو إيذان بمولد أو موت حاكم مهمّ. أمّا في الهند فأسطورة **گانش** إبن الإلهة **شيفا** والإله **پارفاتي**، فله رأس فيل وجسم إنسان.

في العصر الحديث، استعمِلت كلمة **كَميرا** لتعني أيّ مخلوق هجين يتكون من عناص نباتية أو حيوانية مختلفة. وهذا مفهوم انتقل من الأسطورة إلى الواقع.

منذ 100 عامًا تقريبا، بدأ العلماء يحصلون على مادة الإنسولين من البقر لمعالجة مرض السكّري. تمكّنوا فيما بعد من استخلاص هذه المادة من الكلاب والخنازير، إضافة إلى البقر، لتمكين الناس من الحياة رغم أصابتهم بالمرض وأنقِذت أعداد لا يمكن حصرها باستعمال هذا العلاج. وبعد عدة حقب، توصّل العلماء إلى استعمال نسخ معدّلة من جينات بكتريا E. Coli للحصول على الإنسولين على نطاق واسع.

خلال الحقب الثلاثة الماضية، بدأ الأطباء استعمال صمامات القلب عند الخنازير والبقر لإصلاح صمامات القلب البشري. برغم أنّ هذه الخطوة كانت مثار جدل عند اليهود والمسلمين والهندوس[185]، فإنّ استخدام صمامات الأبهر الحيوانية، هي العمليات الشائعة في جراحة القلب للمرضى من اتباع الديانات المذكورة. ببساطة، إنّ المنافع تفوق المخاطر.

حقق العلماء نتائج باهرة باستخدام صمامات القلب الحيوانية لتعويض صمامات القلب المختلة في قلوب البشر، أكثر من استعمال تعويض العضو بكامله ونقله من الحيوان لإنسان. في عام 1984 تمكّن الجراح *لَنَرد بَيلي* وفريقه من ولاية كاليفورنيا من زراعة قلب قرد من فصيلة البابون في جسم طفلة اسمها فَي، التي وُلِدت بعطب في الجانب الأيسر من قلبها، وهو خلل وراثي نادر. بالرغم من محاولة إجراء عمليات قليلة لاستعمال أعضاء من جسم الحيوان وزرعها في جسم الإنسان، لكنّ كافة تلك المحاولات قد باءت بالفشل، لأنّ جهاز المناعة في جسم الإنسان يرفض قبول تلك الإعضاء الغريبة.

بالرغم من أنّ الطفلة فَي قد فارقت الحياة خلال فترة شهر من إجراء العملية المذكورة، فإنّ تلك العملية قد فتحت الباب لنجاح عمليات نقل أعضاء بشرية وزرعها في أجسام المرضى، وأثبتت هذه نجاحا أكثر من زرع أعضاء الحيوانات في أجسام البشر. أنقذ هذا الإجراء حياة المئات من الناس. غير أنّ هذا النوع من العمليات الجراحية يواجه مشكلتين. الأولي، إنّ جسم الإنسان، وبحكم

المناعة الطبيعية، يرفض الحمض النووي الدخيل. وعليه فالأشخاص، الذين تزرع في أجسامهم أعضاء جديدة، يجب أن يواصلوا طيلة حياتهم على تلقي دواء يخفف من هذا الرفض ويقضي عليه. ويعني هذا وضعهم في خطر دائم للإصابة بشتى الأمراض بسبب تعطل جهاز المناعة لديهم. ثانيا، في الولايات المتحدة وغيرها من البلدان، هناك نقص كبير في ميدان التبرع بأعضاء جسم الإنسان.

اعتبارًا من شهر أغسطس عام 2017، كان يوجد على قائمة الانتظار 114000 مريضًا في أمريكا بحاجة إلى من يتبرّع له بعضو من جسمه، ويموت في كلّ يوم 20 مريضًا تقريبًا بسبب هذا النقص. يجب على الأقلّ من الناحية النظرية تفادي هذا النقص وحله بالأساليب السياسية[186]. بإمكان كل متبرّع أن يمنح 8 أعضاء من جسمه، ممّا يعني أنّه/أنّها تنقذ حياة 8 أشخاص. لكنّ هذا لا يحدث. تبلغ نسبة المؤيدين للتبرّع حوالى 95% لكنّها تترجم واقعيا إلى 54% [187]. وفي الحقيقة أنّ النسبة تنخفض إلى أقلّ من ذلك بكثير لأنّ أفراد أسر المتبرعين والمتبرعات قد يختلفون في الرأي حين تحين الساعة لأسباب عاطفية، فيرفضون أن تُرفع بعض الأعضاء من أجساد موتاهم.

من بين الحيوانات الأليفة، تأتي الخنازير في المرتبة الأولى كمصدر لنقل الأعضاء إلى البشر، لأنّه يتوفر الكثير منها وأنّ حجم أعضاء جسمها مقاربة لما يماثلها عند البشر وتقوم بنفس المهام. لكنّ الاعتماد على هذا المصدر يواجه قضيتين كبيرتين. الأولى هي ردّ فعل المناعة الطبيعية لدى الإنسان ضدّ هذه الأعضاء. لكنّه تمّت معالجة الموضوع خلال السنوات الماضية بتوفير الأدوية المتقدمة التي تخفف من هذه المناعة وتؤدي إلى قبول العضو المزروع. الخطوة الأخرى هي مسح جينات الخنازير وتعديلها كي لا يرفضها الجسم البشري[188]. المشكلة الأخرى، هي خطورة تعرّض الإنسان للإصابة بالفايرُسات التي تحملها الخنازير عادة، بعد أن يتم زرع أعضاءها في جسمه.

تحمل الخنازير فايرُس نشط اسمه Porcine Endogenous RetroVirus واختصارًا PERV. يمكن أن تكون هذه الفيروسات خطيرة، بل قاتلة للبشر، خاصة أولئك الذين اضعِفت مناعتهم الطبيعية بتناول الأدوية الخاصّة بذلك. ولحدّ الآن يُعتبر هذا الفايرُس هو العائق الرئيسي في عدم الإقدام على نقل أعضاء الخنازير وزرعها في جسم الإنسان.

وعلى أيّة حال، تقوم مجموعة من العلماء في جامعة هارفرد باستخدام كرسپر - كاس9 لمسح جينات الخنازير وتعديلها في مناطق مختلفة في ذات الوقت، لخلق خنازير خالية من فايرُس PERV [189]. ومن المؤمل القيام بعمليات لنقل الكليتين وغدة البنكرياس من خنازير معدّلة الجينات وزرعها في أجسام المرضى من البشر. سيقود نجاح هذه التجارب إلى انقاذ حياة الآلاف من الناس كلّ عام.

السؤال الذي يطرح نفسه هنا، لماذا نتوقف عند هذا الحدّ؟ إذا كان يمكن الحصول على الأنسولين والخميرة من بكتريا مهندسة الجينيّات، بدلًا من الأنسولين المأخوذ من الحيوانات، أليس نمو عضو الإنسان الكامل خارج جسمه اعتمادًا على خلايا مأخوذه منه، وزرعه فيما بعد في جسمه، أفضل من زرع عضو حيوان عُدّلت جيناته؟ ماذا لو جعلنا الأعضاء البشرية تنمو داخل الحيوانات لغرض زراعتها بعد اكتمال نموّها في أجسام البشر فيما بعد. إنّ تحقيق ذلك ليس بالأمر الهيّن، لكنّه الخطوة الأولى للحصول على أجنّة كِميرا من خلايا كائن تنمو داخل كائن آخر، ونقلها فيما بعد لزرعها في جسم الكائن الأول.

قام العلماء في **معهد سالك** في سَنت ياگو بحقن عدة مستويات من خلايا البشر في أجنة 1500 خنزيرا، حتى حصلوا في النهاية على خلايا بشرية مندمجة مع خلايا الخنزير. في محاولة أخرى، قام فريق بزرع خلايا البنكرياس المأخوذة من جينات فئران وحقنوها لكي تنمو داخل أجسام جرذان، ثمّ عادوا فنقلوها إلى أجسام الفئران لمعالجة مرض السكري لديها. وتبع ذلك اعلان في شهر فبراير من عام 2018، بأنّ فريقا من جامعة كاليفورنيا فرع دَيفز، قد طور أجنة اغنام تحمل خلايا بشرية بنسبة0.001 [190]. وكما حصل في موضوع الفئران والجرذان، فإنّ اختراق أجنة الأغنام وجعلها تتوقف عن نمو عضو معين في داخل جسمها واستبدال ذلك بجينات بشرية تعطي التعليمات لنمو عضو بشري مماثل في داخلها، بدت تظهر وكأنّها حقيقة ممكنة.

إنّ نمو الأعضاء البشرية داخل كائنات أخرى لن يحدث غدا. ولكن إذا أصبح ممكنا لأيّ شخص أن تؤخذ منه خلايا تحمل نفس جيناته وتحقن في حيوان آخر، لأنّه يحتاج إلى عضو جديد بسبب خلل في عضوه الحالي أو بسبب الكِبر والشيخوخة، فسيتغلب على أيّة حشمة أو تردّد قد يشعر به اتجاه الدمج بين الإنسان والحيوان. ستتعرض الحكومات إلى ضغوط عالية كي لا تمنع الناس من الحصول على أعضاء الجسم، التي يحتاجونها، كي تُزرع في أجسامهم بعد أن يكتمل نموها داخل أجسام الحيوانات.

إنّ إمكانية حقن الحمض النووي للحيوان داخل الجينوم البشري يفتح الآفاق للعلم ويعجّل في جعل ذلك حقيقة. نجحت التجارب العلمية من خلال تجربة بسيطة لحقن پروتين الفلوروسِنت Fluorescent المنفرد المأخوذ من قنديل البحر Jellyfish في جسم الإنسان فأصبح هذا يشعّ نورا إذا تعرّض للأشعة فوق البنفسجية. إذا وجد العلماء جينا منفردا أو جينين يجعلان جرذان الخلد Hole Rats ذات مناعة قوية ضدّ السرطان، ألا يجعلنا هذا نرغب في الحصول على ذلك الجين

وحقنه في جسم الإنسان باستخدام كرسپر - كاس9 أو غيره في المستقبل من آلات مسح الجينات وتعديلها؟ إنّ دمج الأنظمة الجينية بكاملها مثل إعطاء الكلاب مزيدًا من القدرات للسمع وإعطاء النسور قوة نظر أحدّ مما تملكه الآن، وإعطاء الدلافين السونار Sonar الأدق كي تعرف اتجاهاتها وتتلمس مساراتها في البحار والمحيطات. لن تكون هذه القضايا هي الأكثر تعقيدًا، ولربّما ممكنة في القريب العاجل. لكنّ التحوّل الذي يحدث على البايولوجيا للدخول إلى ميدان هندسة القدرات البشرية، سيجعل أحاسيسنا بمرور الوقت ضبابية يصعب الفصل فيها بين معرفة، أين ينتهي الخيال وأين يبدأ العلم.

الإمكانيات لهذا الصنف من الهندسة واسعة لأنّ الحياة بكاملها تعمل وفق مظاهر مختلفة من تركيبات نفس العناصر الجينية. سيكون ممكنا في أحد الأيام خلق سمات بشرية جديدة وقدرات بِدأ من الصفر، وذلك باستعمال تركيبات جديدة لنفس جينات بناء الحياة البشرية.

* * *

قام الانفجار الذي حصل في مجال الأحياء الاصطناعية Synthetic Biology على استعمال الكومپيوتر والمختبرات لكتابة شفرات جينية جديدة لم تكن موجودة في الطبيعة، بغية خلق كائنات تعمل أشياء مبرمجة ومعدة لها سلفا. من التطبيقات الأولية على ذلك تصنيع اللحوم في المختبرات وهندسة البكتريا لإفراز النفط وعمل الخميرة من الحمض النووي للعنكبوت وصنع حرير تفوق قوته قوة الفولاذ وحثّ الكولاجين البقري لإنتاج جلود غير حيوانية. كما يستعمل علم الأحياء الاصطناعية لخلق مايكروبات متجددة لإنتاج مادة الأكرلك، التي تستعمل في صناعة الألوان والأصباغ، وكذلك إنتاج المواد السكرية الرخيصة المستعملة في الوقود الحيوي biofuel. في الحقيقة، إنّ قائمة الأحياء الاصطناعية واستخداماتها تكاد لا تنتهي. وهذا العلم والصناعة المرتبطة به في تزايد مستمر مع تقدّم أدوات الأحياء الاصطناعية وسهولة الحصول عليها.

تقوم هذه الأشكال الجديدة من الحياة على الأجزاء الجينية التي يمكن الحصول عليها جاهزة. فمؤسسة **الآلة العالمية لهندسة الجينات** iGEM، مثلا توفر خليطا مجانيا من شفرات تسلسل الحمض النووي، الذي يؤدي عملية بايولوجية معينة، بحيث يمكن «خلطها ومزجها لبناء أدوات وأنظمة حيوية اصطناعية»[191]. كما توفر **مؤسسة بايوبرِك**، التي شرع بها باحثون من معهد ماسَچوسِت للتكنولوجيا وجامعة هارفرد، تسلسل الحمض النووي للجينات الاصطناعية[192]، بحيث

يمكن للباحثين الحصول عليها بنفس السهولة التي يحصل فيها البناؤن على المواد الإنشائية من محل هوم ديپو. إنّ سهولة الحصول على هذه الأدوات ومرونتها تدعم ثورة الأحياء الاصطناعية، حيث تتوفر المواد الضرورية مثل رقائق الكومپيوتر والأدوات المنزلية والملابس، التي تُنتج جميعا بواسطة الهندسة البايولوجية.

الاستخدامات التجارية لهذه الثورة واسعة للغاية. ويُقدّر أنّ أسواق الأحياء الاصطناعية على المستوى العالمي سترتفع قيمتها من 3 بلايين دولارًا عام 2013 إلى 40 بليون دولارًا عام 2020، مع فرصة نمو متوقعة عالميًّا تصل إلى 20% في السنة. وليس مفاجئا أنّ سوق الصين لعالم الأحياء الاصطناعية سيكون أسرع نموّا من أيّ مكان آخر لمنتجات من هذه الأنواع[193]. واستنادًا إلى ما صرح به عالِم الأحياء الاصطناعية رِچرد كِتنـي، فإنّ كافة ما نتوقعه سيكون إنتاج ثورة صناعية رئيسية جديدة»[194].

ومع تزايد أعداد سكان العالم والتغيرات المناخية المتمثلة بالاحترار، تبرز أمامنا تحديات لم نرَ لها مثيلا في السابق. إنّ الأنواع الدقيقة لمسح الجينات وتعديلها، من التي تقوم على تطبيقات العلوم الحياتية الاصطناعية، ستكون أساسية من أجل محافظتنا على البقاء، بمعنى أنّ تطوّرنا يعتمد على البايولوجية الاصطناعية واستخداماتها في حياتنا. إنّها تعبّد الطريق لقبول أكثر لمثل هذه الفكرة في أنفسنا، وأنّ هذه العملية قد بدأت بالفعل.

في عام 2010 أعلن العالِم كرَيگ فِنتَر أنّه وزملائه قد تمكنوا من تركيب الجينوم الكامل لبكتريا سمّوها Mycoplasma Mycoides ووضعوها في أغشية فارغة لبكتريا أخرى، فخلقوا بذلك أوّل بكتريا اصطناعية في العالم[195]. لم يكن ذلك مسحا لخلية واحدة موجودة، مثل جعل البكتريا تنتج الأنسولين، ولكن بناء حياة جديدة من البدء. اعتُبِر هذا في رأي بعض الناس تدخّلا في «الإرادة الإلهية» فكان ذلك هو البداية. وبعد 6 سنوات أعلن فريق فِنتَر أنّه قلّص الشفرة الجينية لخليتهم الاصطناعية إلى عدد أقلّ بكثير من الجينات الأساسية المطلوبة للبقاء على قيد الحياة. أعتُبِرت هذه الخطوة الأولى لعملية لا نهاية لها في خلق حياة جديدة وإعادة كتابة الشفرة لذلك، إنجازا عظيما.

كتب فِنتَر يقول، «إنّ القفزات الحديثة في علم الأحياء المصحوبة بتحليل البيانات الواسعة، قد قادتنا إلى بروز ثورة في ميدان الطبّ»، كما ورد في مقالة رئيسية له في صحيفة واشنطن پوست

نُشرت في شهر ديسمبر من عام 2017. أضاف القول، «لم نتعلم فقط أن نقرأ شفرة الجين ونكتبها. باستطاعتنا الآن أن نصفها بشكل رقمي ونترجمها ثانية إلى الحياة الاصطناعية. ومن الناحية النظرية، يعطي هذا لجنسنا البشري سيطرة على التصميم البايولوجي. باستطاعتنا كتابة برامج كومبيوتر للحمض النووي، وحين نستعمل تلك البرامج في الكومبيوتر، باستطاعتنا تحويلها إلى اختلافات غير محدودة لتسلسل جينات الحياة البايولوجية».



Source: Mommy? A DNA synthesizer machine, https://www.rednewswire.com/global-dna-synthesizer-market-expected-to-grow-at-high-cagr-durin g-forecast-period-201 8-2025/

جهاز دمج الحمض النووي الذي سيتوسع سوقه سريعا بين الأعوام 2018- 2025

لا يزال الطريق طويلًا ما بين تركيب جينوم كائن الخلية الواحدة، الذي لم يحدث بعد، وما بين 21 ألف خلية تقريبا وبين جينات ترميز البروتين في الجينوم البشري. ولكن كما تقول الحكمة الصينية إنّ رحلة الألف ميل تبدأ بالخطوة الأولى. وكما صرّح *درو أندي*، عالِم الأحياء الاصطناعية في جامعة ستانفرد لمجلة **نولايف** عام 2018، «نرغب أن نضع نماذج أنظمة بايولوجية يمكننا فهمها واستخدامها كمهندسين لإعادة بناء العالم الحي... يجب عليّ أن أتخيّل أنّنا في يوم ما سيكون بمقدورنا بناء الجينوم البشري بشكل روتيني لأيّ غرض يطلبه أيّ شخص[196].

وكلمة ازدادت قوّة الكومبيوتر وقلت كلفة إنتاج الجينوم البشري بكامله، فإنّ الخطوات ستتسارع. إنّ **لاو- تسو** صاحب مقولة الرحلة الطويلة قبل 2500 عامًا كان سيحتاج فقط 300 ساعة لقطع مسافة 1000ميلا. إنّ أحفاده اليوم يقطعون تلك المسافة خلال 12 ساعة بالسيارة و4 ساعات بالقطار وساعتين بالطائرة وخلال 3 دقائق ونصف في مركبة فضائية تدور حول العالم. ومع ذلك، فإنّ رحلة الألف ميل تبدأ بالخطوة الأولى، لكنّ سرعة السفر تزداد قوة منذ تلك اللحظة.

يُعتبر مشروع كتابة الجينوم GP-write نموذجا واضحا للتغيّرات المتسارعة ويستهدف أوّلا تأمين مبلغ 100 مليون دولارًا من أجل تركيب الجينوم البشري بكامله، ابتداء من تركيب جينومات الكائنات البسيطة وصولا إلى المعقدة منها، ومن ثمّ خلق الشفرة الوراثية البشرية[197]. «إن ما ننوي فعله يتجاوز **كرسپر**»، حسب تصريح جورج چَرچ، الذي أضاف «إنّه يشبه الفرق بين مراجعة كتاب وتأليف آخر»[198].

وحتى لو نجح تأمين الأموال جزئيا، فإنّ هذه المبادرة ستساعد العلماء أن يفهموا أكثر علم الوراثة المعقّد والنظم الواسعة لعلم الأحياء المتعلقة بالبيئة. وسيساعد هذا الفهم على المدى البعيد، الأجيال القادمة لمعالجة وهندسة وفي النهاية خلق الحياة. إنّ تحويل الحياة البشرية إلى شكل من اشكال تكنولوجيا المعلومات سيمضي قدما في القراءة والكتابة والاختراق. ومع وجود هذه التطلعات، فليس صدفة أنّ كتاب چَرچ عام 2012 حمل عنوان «إعادة التكوين» Regensis، بعد أن ارجعت التقاليد الدينية نشأة هذا الكون وكتاب الحياة فيه إلى خالق يتألف اسمه من ثلاثة حروف.

الحوسبة وتعلم الماكنة والذكاء الاصطناعي وتقنية النانو nanotechnology والتكنولوجيا الحيوية والثورة في عالم الوراثة، لها اسماء عدة هذه الأيام، لكنّ كافة هذه التقنيات تصبّ في تيار موجة عارمة تغطي ما معنى أن يكون الإنسان كائنا. ولو ركبنا هذه الموجة الكاسحة، فإنّ الحدّ الذي سنمضي إليه ربّما يتوقف على الخيال الجماعي للمجتمع، أيّ مجتمع.

فمثلا كرِستُفر مَيسُن، عالم الأحياء في كلية طبّ **وَيل كورنَيل**، قد بدأ فعلا العمل على ما أطلق عليه «10 خطوات لخطة 500 عامًا لبقاء الجنس البشري على سطح هذه الأرض وفي فضاءها والكواكب الأخرى من حولها». وهو يتعاون مع **مؤسسة ناسا الفضائية** «لبناء صورة جزئية متكاملة للجينوم والأپِجينوم والترانسكرِپتوم والميتاجينوم لرواد الفضاء. ستساعد هذه في بناء

أسس الجزيئات والدفاعات الوراثية لهؤلاء الرواد وبقائهم في الفضاء لفترة طويلة»[199]. إنّ سفينة الفضاء لمستقبل جيناتنا مستعدة للانطلاق.

هذا هو السبب الذي يجعلنا أنّه حين نستجلي «ماكنة الزمن» لتحضر لنا طفلا عاش قبل 1000 عامًا، فإنّنا سنجده يشبه أطفالنا الحاليين. لكنّ الطفل الذي ستجلبه لنا هذه الماكنة من الألف سنة القادمة، سيكون مختلفا إلى حدّ بعيد. سيكون أحسن صحة وأقوى بدنا وأكثر ذكاء وأشدّ نشاطا من أطفالنا الحاليين، وحتى منّا نحن الذين نعيش هذه الأيام. وهذا يجعل طفل المستقبل، إذا غذيناه بشكل جيد واعتنينا به حسب المتطلبات، فإنّه سيعيش حياة أطول بشكل ملحوظ من أيّ منّا.

الفصل السابع
سرقة الخلود من الآلهة

قصة الملك *كِلكَامِش* في أوروك، من الأعمال الأدبية القديمة، التي ما زالت حيّة في عالمنا اليوم. لم يستطِع هذا التوقف عن الحزن لخسارة صديقه أنكيدو، الذي فارق الحياة في عمر مبكّر. جعله ذلك الحزن وتلك الخسارة وجها لوجه مع الموت، فانتحب متسائلا، «هل عليّ أن أموت أنا أيضا؟» غير أنّ صاحب الحانة سِدوري حذر *كِلكَامِش*، «من أنّ حياة الإنسان قصيرة. الآلهة فقط خالدون إلى الأبد»[200]. لكنّ الملك لم تُثنِهِ تلك النصيحة، فانطلق في رحلته الأسطورية ليعرف أسرار الآلهة والمفتاح لذلك الخلود.

قابل في الطريق رجلا اسمه *أتونابِشتِم*، وهو نوح بلاد الرافدين، الذي نجا من الموت غرقا خلال الفيضان العارم بعد أن وجّهه الإله *إنكي* كي يبني سفينة ويملأها بالبشر والحيوانات[201]. وبعد مزيد من الإقناع، أخبر *أتونابِشتِم* الملك *كِلكَامِش* بأنّه توجد في قاع البحر «شجيرة عجيبة» تعيد الشباب لمن يأكل ثمارها. استطاع *كِلكَامِش* أن يصل إلى موقع الشجيرة فاقتلعها وعاد بها إلى مملكته. غير أنّ الأفعى المتسترة سرقتها منه، وهذا هو ما جعلها تخلع جلدها وتجدّد شبابها كلّ عام. عاد الملك المتواضع إلى قصره مقتنعا بأنّ الخلود مستحيل بالنسبة له، وأنّه يجب أن يقبل حقيقة أنْ لا مفرّ من الموت، وأنّه سيلحق بصديقه *أنكيدو* في يوم ما.

ومثلي مثل *كِلكَامِش* قبل أن يتنوّر. ما زلت اتساءل كيف أنّ حياتنا تشبه قوسا قصيرا يتحول بسرعة ما بين صرختي بكاء في غرفة المستشفى. أيّ خدعة قاسية قرّرت لعضلاتنا أن تفقد أليافها ونحن فقط في سن 20 عامًا، وأنّ أغلب وظائفنا الجسدية تصل إلى قمّتها ونحن في أواخر سنّ

العشرين، وأنّ احتمالات موتنا تتضاعف كلّ 8 سنوات بدء من سن 30 عامًا، وأنّ خلايانا تبدأ بفقد قدرتها على إصلاح الطفرات الخطيرة ونحن في سنّ 40 عامًا؟ لا أجد نفسي وحيدا أفكّر في هذا الموضوع.

مُنذ وُجِد الإنسان على سطح هذا الكوكب وهو يصارع فكرة موته. ورغم أنّ الفكرة تدفعنا لتحقيق بعض من تطلعاتنا، ونحن قادرون على ذلك، فإنّ الوفاة في أحسن صورها نعمة مزدوجة.

نظرا لعدم توفر الأدوات لمقاومة الموت، فإنّ أجدادنا لم يتمكنوا من السيطرة على دوافع الرغبة في سرقة الخلود من الآلهة. وهذا هو السبب الذي جعل العديد من الحضارات أن تكون مأخوذة بفكرة امتداد الحياة وقهر الموت.

ورد في العهد القديم أنّ *مَتوشالح* Methuselah هو الذي قهر البايولوجيا، فقد ورد في سفر التكوين Genesis 5:27 أنّه قد عمّر لسن 969 عامًا. نظرا لأنّ الإنجيل لا يخبرنا شيئًا كثيرا عن *مَتوشالح* وكيف استطاع أن يعمّر إلى ذلك السنّ، لكنّه أخبرنا أنّ ذريته قد عاشوا ما بين 895-962 عامًا. ومع ذلك فإنّ ياوَي Yahweh قد غيّر رأيه بعد بعض السطور القليلة من ذلك وبالضبط ما ورد في Genesis 6:3 أنّه قال «ستسأم روحي من تحمّل البشر لفترة طويلة لأنّهم من لحم ميّت. وفي المستقبل سيكون مدى حياتهم ليس أكثر من 120 عامًا».

أمّا بالنسبة للصينيين القدماء، فقد امضوا عصورا وهم يحاولون الحصول على إكسير الحياة. وكان السرّ هو **لنگزي** Lingzhi، الفطر الخارق للخلود الذي يُقال أنّه موجود في أعالي الجبال. أمّا عند الهنود فهو **أمريتا** Amrita ويُدعى أحيانا **سوما** Soma. وهو شراب يُصنع من نبات جبلي صعب المنال، كما ورد في النصّ المقدّس **رِگفِدا** Rigveda، الذي يجعل شاربه يعيش إلى الأبد.

ثمّ جاء تنوير الثورة العلمية في أوروبا فألبس الأمر عقلانية جديدة واعطى للإنسانية، التي تبحث عن الخلود، أملا جديدا.

في عام 1896 أبحر سرجي فورونوف إلى مصر. وهو طبيب من أصل روسي وُلَد في فرنسا وتتلمذ لسنوات على يد *ألِكس كارِل*، الطبيب الحائز على جائزة نوبل والذي يُعتبَر أب لطبّ زراعة الأعضاء. لاحظ فورونوف أنّ الخصيتن عند السكان تبدوان ضعيفتين وكأنّهما مخفيّتين،

فاستنتج أنّ هذا الضعف يحرم الفرد من الإفرازات الغدّية التي تحتاجها الأجسام البشرية للمحافظة على حيويّتها. واعتمادًا على ما تعلمه من أستاذه *كارِل* حول إمكانية «تطعيم» أجزاء الجسم البشري، جاء بفكرة إبداعية تتلخّص في زرع خصيتي قرد في جسم رجل بغية شحن الغدد الإفرازية عنده ومعالجة كافة أنواع الأمراض وزيادة حيوية ذلك الرجل وإطالة عمره. كتب فورونوف عام 1920، «إنّ غدد الإفرازات الجنسية حين تطرح سوائلها في مجرى دماء الكائن، تعطيها حيوية وتعيد الطاقة لكافة الخلايا وتنشر فيها السعادة»[202].

بحلول عام 1923، تزايد الطلب كثيرا على عمليات فورونوف، بحيث فتحوا مراكز في أفريقيا لصيد ذكور القردة واحتجازها من أجل اخصائها ونقل تلك الأعضاء المقطوعة لقائمة طويلة من الرجال، رغم الكلفة الباهضة للعملية. وحين لم يلحظ الأشخاص المعنيّون أية «تحسينات» كانوا يتوقعونها ارتفعت أصوات الشكّ، وهو ما دفع فورونوف ليزيد من ادعاءاته فأضاف تعليلا آخر. ذكر أنّه إذا توافقت فصيلة دمّ الشخص والقرد، الذي سُلِبت فحولته، فإنّ ذلك الشخص قد يعمّر حتى سنّ 140 عامًا. وحين لم يتحقق شيء من تلك الإدعاءات، سقطت عملية فورنوف إلى الحضيض وانتهت بفشل ذريع.

غير أنّ فشل عملية خصيان قرَدَة فورونوف لم يوقف الخيارات والعمليات السحرية الأخرى مثل نقل خصيان الأكباش إلى الأفراد وشرب «إكسير الحياة الطويلة»، وغيرهما من الادّعاءات، التي غزت الأسواق في مطلع القرن العشرين. وبطبيعة الحال، تمّ التوقف عنها بعد اكتشاف حقيقة عدم جدواها. ومع أنّ هذه الإجراءات السحرية قد فشلت ولم تحقق شيئًا، إلّا أنّ معدّل حياة الإنسان بدأ بالتزايد بسرعة لم يُسبق لها مثيل.

خلال تاريخنا الطويل، كان معدّل حياة الإنسان قصيرا. كانت هناك ظروف عدة لإجدادنا الرحّل، الذين امتنهوا الصيد، بأن تنتهي حياة الفرد منهم مبكرا. إذا لم يفقد الطفل حياته أثناء ساعات الولادة، فإنّه سيواجه عددا لا يُحصى من الإلتهابات والأمراض خلال سنواته الأولى. وكانت هناك دائمًا فرص الموت تترقبه على يد حيوان مفترس أو حوادث عرضية أو اقتتال مع الصيادين الآخرين. وهذا هو السبب الذي جعل معدّل حياة الفرد في تلك المراحل المبكرة من تاريخ البشرية لا يتجاوز 18 عامًا. ورغم كلّ التطورات التي حدثت، فقد كان معدل عمر الفرد في امبراطورية روما

لا يتجاوز 25 عامًا. في عام 1900 كان معدل العمر في الولايات المتحدة 47 عامًا، رغم أنّ البلاد كانت في طليعة البلدان المتقدمة.

إنّ معدّل الحياة ما كان يعني إطلاقا أنّ حكماء روما وشيوخها كانوا في سنّ 26 عامًا، وأنّ أيّ شخص في أمريكا قبل 200 عامًا يموت وهو في سنّ 48. إنّه يعني أنّنا إذا أضفنا مجموع اعمار الأشخاص، الذين يعيشون في منطقة ما، وقسّمنا ذلك المجموع على عدد الناس، فإنّنا نحصل على معدّل العمر. فإذا وُلد طفلان في نفس اليوم، وتوفي أحدهما في يوم ولادته وعاش الآخر حتى سنّ 80 عامًا، فإنّ المتوسط الجماعي collective average لطول الحياة سيكون 40 عامًا. حين ترتفع نسبة وفيات الأطفال، فإنّ معدّل طول الحياة لسكان تلك المنطقة سيكون منخفضا، حتى لو أنّ عددا لا بأس به من الناس يعيشون حياة طويلة.

غير أنّه خلال القرن العشرين حدث تقدّم كبير في مجال الخدمات الطبية والنظافة والسلامة في أماكن العمل والاهتمام بالصحة العامة وبالتغذية. دفعت هذه جميعا معدّلات الحياة أكثر من السابق، فزادت نسبة كبار السنّ من بين مجموع السكان. يبلغ متوسط عمر الفرد الآن حول العالم 71.4 عامًا وفي الولايات المتحدة 79 عامًا وفي اليابان 85 عامًا، علما أنّه يصل إلى حوالى 50 عامًا في البلدان الأفريقية الفقيرة.

إنّ زيادة معدّل الحياة المتوقع في البلدان المتقدّمة خلال القرن الماضي، كان بمقدار 3 أشهر لكلّ سنة. ازدادت أعداد الناس الذين يعيشون لأكثر من 100 عامًا بمقدار 2/ 3 في الولايات المتحدة وتضاعفت خمس مرّات في المملكة المتحدة خلال 30 سنة الماضية. أمّا في اليابان، التي سجّلت وجود 339 معمّرا ممّن تجاوزت اعمارهم القرن عام 1971، فيُقدّر أنّ عددهم الآن 75000 شخصا. قدّر پيو أنّ عدد الأشخاص حول العالم من الذين عمّروا لأكثر من 100 عامًا في القرن الماضي، سيرتفع من 450000 شخصا إلى 4 ملايين شخصا تقريبًا[203] في حدود عام 2050.

في الوقت الذي أصبحت توجد فيه إمكانية للعيش لفترة أطول كحقيقة جديدة، فإنّ توقعاتنا حول عدد سنوات العمر وكم منها تمثل حياة كاملة، قد تغيّرت هي الأخرى.

قد يكون رهانا ناجحا أنّ الأسر البشرية، التي عاش أفرادها حتى سن 40 عامًا في سهول أفريقيا في الماضي، لم يسلبهم الموت حياتهم مبكّرا. ففي ذلك الوقت كان سنّ 40 عامًا أمرا جيّدا في ضوء المخاطر، التي يمكن أن تجعل حياة البشر أقصر. أمّا أن تفقد عزيزا اليوم وهو في سنّ

الأربعين، فيُعتبر ذلك خسارة لا تعوّض. ولكنّ حين يتوفى شخص وهو في سن التسعين، وهو شيء نادر الحدوث لدى أجدادنا، يشعر معظم الناس الآن أنّه العمر المتوفع للوفاة. حين سُئلت عينة من الأمريكيين عام 2013عن طول الحياة التي يحبون أن يعيشوها، أجاب 69% أنّهم يحبون العيش بين سنّ 79 عامًا، وهو معدل حياة الفرد المتوقعة، و100 عامًا. كان الوسيط Median 90 عامًا. ذُكِر قديما، «لكلّ شيء موسم»، وأنّ الشعور بموسم الحياة للكثير من الناس أن يمتدّ على الأقلّ إلى سنّ 90 عامًا.

ولكن ماذا لو يعيش غالبية الناس الإصحاء لسنّ 120 أو 130 عامًا. هل سيشعر الآخرون الذين فقدوا والديهم أو أزواجهم أو أصدقائهم وهم في سنّ 90 عامًا، بأنّهم عاشوا حياتهم كاملة أم أنّ تلك الحياة قد سُلِبت منهم مبكّرا، كما نفعل الآن حين يتوفى شخص وهو في سنّ 60 عامًا؟ هل سيؤثر طول العمر القياسي اعتمادًا على عمر أجدادنا، أم نتوقع أن نبني ذلك على عمر جيراننا وأصدقائنا؟ ليس هناك شيء سحري عن حياة تمتد 80 عامًا. إنّها فقط ما نعرفه في هذه اللحظة من استمرار مسار التطور. وحين يتغيّر ذلك ستتغير معه كافة توقعاتنا حول هذه المسألة.

وحتى لو كانت مفاهيمنا عن البايولوجيا طيّعة، فنحن حقيقة لا نعرف استعداد أجسامنا للشيخوخة وماذا ستكون عليه. غير أنّ الأدوات الجديدة لعلم الوراثة والثورة في عالم التكنولوجيا الحيوية تعطينا دفعا لنزيد من حدود مدى حياتنا وديمومة صحتنا خلال الفترات القوية من حياتنا.

وكخطوة أولى لمعرفة كم سنة يكون بإمكاننا أن نعيش، فيجب أن نفهم عملية تقادم السنّ ذاتها.

العملية، التي يفهمها الناس جيدا بالفطرة، هي أنّ تقادم السنّ مسألة معقدة بشكل ملفت للنظر. فالعلماء لا يستطيعون الاتفاق على تعريف واحد لمسألة الشيخوخة، لأنّها ليست شيئًا واحدًا. ربّما هي أنّ مجموعة من الأنظمة والأجهزة المختلفة في جسم الإنسان تتدهور جميعا بمعدلات مختلفة. اعتقد بعض العلماء أنّ الشيخوخة سلسلة من التغيّرات التي تقرّب من وضع نهاية لحياة الكائن، فيما اعتقد آخرون أنّها تدهور تدريجي للقدرات على أداء الوظائف البدنية. كما ظنّ آخرون أنّها ناجمة عن زيادة مستوى الإلتهابات والإضرار في جسم الإنسان، وأكّد آخرون أنّها تدهور في قدرات الجسم لتنشيط الخلايا الجذعية، التي تضمن لخلايا الجسم الأخرى القدرة عل تصليح العطب فيها.

ومهما كان التعريف الأفضل، فإنّ الشيخوخة هي السبب الرئيسي للوفاة بين البشر لأنّ كافة الأمراض التي تقضي على معظمهم، هي أمراض ذات علاقة بكبر السنّ. فأمراض القلب والسرطان وأمراض جهاز التنفس المزمنة، تشكّل تقريبا نصف أسباب الوفيّات في الولايات المتحدة وتشكّل ¾ من مجموع الوفيات في العالم. إنّ هذه الأمراض المزمنة أصبحت تشكّل الخطر الأكبر بالنسبة لنا، رغم أنّنا بدأنا نطوّر قدراتنا لمواجهة الأمراض، التي تنتقل بالعدوى، والتي أصابت العديد من أسلافنا. ونظرا لأنّ الأمراض المزمنة لها ارتباط بمسألة العمر، فإنّه كلما كبر الإنسان كلما ازدادت احتمالات الإصابة بها، رغم العناية الصحية الفائقة التي يتلقاها. فإذا فلتَ الإنسان من أحد أمراض الشيخوخة، فإنّ الفرصة لا تتكرّر مع مرض آخر منها. وحتى لو استطعنا القضاء على كافة أمراض السرطان في الولايات المتحدة، فإنّ ذلك لا يضمن إضافة أكثر من 3 سنوات إلى عمر الفرد. يقود هذا الاستنتاج إلى أنّه لو اردنا فعلا أن نزيد من فترة حياة الفرد، فإنّ الموضوع ليس معالجة كلّ مرض من أمراض الشيخوخة على حدة، بل الأفضل هو إبطاء الشيخوخة ذاتها.

ولو تأملنا عدد مختلف أجزاء الجسم والأجهزة فيه، فإنّ معالجة كلّ منها على انفراد من أجل إبطاء الشيخوخة، تبدو مهمة عسيرة ومستحيلة[204]. ولكن لو كانت الشيخوخة تجربة هامة موحدة ذات ارتباط بميكانيكية التحكّم بالعملية بكاملها، فلا بُدّ من وجود طريقة لإبطاء عملية الكِبر عند الكائن الحي بكامله، بما فيه كافة أجزاءه. الخطوة التالية الأولى لتقييم هذه الحالة، هي إيجاد طرق لقياس عملية الشيخوخة المنتظمة.

يشيخ كلّ فرد بطريق مختلفة وبسرعة مختلفة أيضا. كلنا نعرف أنّ بعض الناس من ذوي السن المنخفض يبدون بأنّهم كبار السن، كما نعرف أنّ العديد من كبار السنّ يبدون شبابا. وعلى المستوى الظاهري فقط، ذلك هو الفرق بين العمر الزمني والعمر البايولوجي. فالعمر الزمني محسوب في عدد السنوات منذ الولادة. العمر البايولوجي لا يزال يُقدّر بالعوامل الوراثية والبيئة، التي تجعلنا نكبر بطرق مختلفة.

لو نظرتُ إلى هويتك الشخصية لقيادة السيارة، بإمكاني أن أعرف عمرك. ولأنّي أعرف عمرك فبإمكاني تخمين وضعك الصحي ولربّما كم ستطول فترة بقاءك حيّا. لكنّني لن اقدر على اخبارك عن شبابك نسبيّا مقارنة بعمرك، وكم سنة ستعيش مقارنة بآخرين في نفس موقفك ولهم نفس عمرك الزمني، دون أن أعرف المزيد من المعلومات عن وضعك الصحي الشخصي.

في الوقت الذي تكون فيه معرفة العمر الزمني واضحة، وسهلة القياس، فإنّ معرفة العمر البايولوجي ليست بذات السهولة. قد تبدو أصغر سنّا ممّا أنت عليه، لكنّنا نحتاج أن نقيس عمرك البايولوجي قبل وبعد أيّ علاج مضادّ للشيخوخة، لكي نقرر إن كان هذا الدواء ذا مفعول أم لا.

منذ ثمانينات القرن الماضي والباحثون في شغل شاغل لتحديد نوع مؤشرات العمر البايولوجي وكيف تبدو. وضع **الاتحاد الأمريكي لبحوث الشيخوخة** AFAR هدفا لتحديد العلامات البايولوجية لكبر السنّ، والتي يمكن أنّ تتنبأ بمعدّل ذلك الكِبَر. بمعنى القياس العام لعملية الشيخوخة، بدلا من معرفة تأثير الأمراض، بحيث لا تسبب ضررا للفرد ويمكن أن تصلح للعمل داخل المختبرات ويمكن تطبيقها على الحيوانات والبشر. من الممكن أن تشمل العلامات البايولوجية قائمة مذهلة من العوامل الوراثية والأيضية metabolic وغيرهما من العوامل، التي يصعب قياسها. وحتى لو أمكن هذا القياس، فإنّه من الصعب إرجاعه إلى الشيخوخة.

وعلى أيّة حال، فإنّ الباحثين بدأوا حديثا باحراز تقدّم أكبر. أظهرت الدراسات إلى أنّ الإشارات التي تخصّ البيئة المحيطة بالجينات epigenetic يمكن قياسها من خلال فحص الدم[205]. وطول غطاء نهاية الجين caps في نهاية الكروموزوم ويُسمّى telomeres [206] وسرعة المشي[207] وتجاعيد الوجه الظاهرة[208]، وغيرها من العوامل المؤشرة على الشيخوخة، التي يمكن في المستقبل أن تساعدنا في حلّ أحجية العمر البايولوجي للفرد. تستعمل شركة Labs BioAge في كاليفورنيا الذكاء الاصطناعي لتوضيح تسلسل الجينات وفهمها من خلال التحليلات الأيضية لخلايا الدم لمعرفة العلامات المعقدة للشيخوخة، كما تظهر في دم الإنسان. أثبتت عيّنات الدم في أوروبا المخزونة لعدة حقب في بنوك الدم Blood Banks، حيث تكون المعلومات وسجلات الموت والحياة للأشخاص المتبرعين متوفرة، بأنّها مصادر ذات قيمة عالية.

إنّ القدرة على قياس العمر البايولوجي ستساعدنا في تقييم الجهود لتعديله، ولكنّنا ما زلنا بحاجة للبحث عن دلائل عن عدد سنوات حياة كلّ منّا، وماذا نحتاج أن نفعل لنعيش اصحاء لفترة أطول.

* * *

الأخبار الجيدة عن التفكير بأنّنا سنستطيع تجاوز معضلة الموت وأنّ ذلك ممكن، فإنّ عملية التطور لا يهمها كم ستطول فترة حياتنا.

لو كان أجدادنا قد جابهوا كثرة عدد الأطفال، الذين تفترسهم الحيوانات الوحشية، لكان أطفالنا قد وقع عليهم الخيار لوجود هياكل خارجية لحمايتهم، مثل سرطان البحر lobster. لو تمّ افتراس عدد كبير من الآباء والإمّهات بحيث لم يستطيعوا العناية بأطفالهم، لكان الأطفال أصبحوا معتمدين على انفسهم، كما يفعل صغار تنين الكومودو، الذين ينطلقون مسرعين حال تفقّس البيض لتجنب التهامهم من قبل الأمّهات، أو كحرباء لامبُورد في جزيرة مدغشقر، حيث يموت كافة البالغين بعد أن تضع الإناث بيوضها، فيفقس البيض عن صغار الحرباء، المعتمدين على أنفسهم من أجل البقاء.

لو كان الأجداد غير متواجدين بكثرة خلال الأيام الأولى من تطور البشرية بسبب افتراسهم من قبل الحيوانات، لكان امرا محزنا للأسرة والمجتمع. لكنّه ربما ما كان لذلك الأمر تأثير واسع على الجنس البشري بكامله. كبار السن كانوا ولا يزالون مفيدين للغاية وذوي أهميّة بالغة لنقل التقاليد ودروس الحياة الهامة. في الحقيقة، كانت هناك حاجة لعدد قليل من الكبار للعناية بالأطفال حتى تخرج الأمهات بحثا عن الطعام، لكنّ التطوّر لم يتأثر إن كان غالبية الناس يعيشون حتى سنّ 40 أو 50 أو 80. إنّ قدرات الأطفال وأوليائهم ضرورية لتطوّر البشرية، وأقل من ذلك أهمية مسألة الأجداد[209].

لو تأملنا إمكانية تغيير السمات البشرية الإيجابية من التي وقع عليها الاختيار لمئات ملايين السنين، فإنّ التنفس هو أفضل مثال. لقد دفعْنا بقوّة ضدّ عبء التطوّر ذاته، ولكن إذا حاولنا التعرّض لأيّة سمة تجاهلها التطور لسبب من الأسباب، فإنّ ذلك يعطينا بريقا من الأمل، على الأقلّ من الناحية النظرية.

ولكن نظرا لأنّه لم يتمّ اختيارنا بالضرورة لنعيش حياة أطول، فمن المؤكّد أنّه تمّ اختيارنا لتوفّر قدرتنا على البقاء احياء حتى خلال الأوقات العصيبة. لقد تأرجح أجدادنا عند حافة المجاعات، طيلة بلايين السنين من تطور البشرية. تقترح التحليلات الجينيّة أنّه قبل حوالى 1.2 مليون عامًا مضت أنّ أسلافنا ما قبل البشر، كانوا بحدود 26 ألفا. وقبل ما يقرب من 150 ألف عامًا تقلص عدد الأسلاف هذا إلى 600 «شخصا» فقط، بالكاد معلقين باطراف الحياة في أقصى الحافة الجنوبية لقارة أفريقيا. إثر انتشار الرماد الناجم عن ثورة بركان سومطرة قبل 70 ألف عامًا، الذي حجب الشمس لمدة 6 سنوات، تناقص عدد البشر على سطح الأرض إلى ما يقرب من آلاف قليلة.

مع كلّ فترة تأرجح، استطاعت قلة من هؤلاء الأسلاف، ممّن كانت لديهم قدرة عظيمة على العيش، بالرغم من محدوديّة التغذية أن تنجو. أمّا الآخرون فقد اختفوا. إنّ هذه الأقليّة هي التي استطاعت أن تورث جينات قادرة على البقاء على قيد الحياة في الأوقات العصيبة من جيل لجيل.

أشار العديد من الدراسات على مدى عدة حقب أنّ تقييد عدد السعرات الحرارية CR قد أمدّ في عمر الخميرة والذباب والديدان والفئران والجرذان، وغيرها من الكائنات. إنّ دراسة جدوى تقنيين السعرات الحرارية يمكن أن يطيل حياة الثدييات مثلنا، أكثر صعوبة لأنّه يتطلب وقتا أطول وأنّ تصرفاتنا الغريبة تجعل من المستحيل إكراه الناس على تجنب أكل ما يحبّون طيلة فترة حياتهم. وعلى أيّة حال، أجرى العلماء منذ الثمانينات دراستين لقياس أثر السعرات الحرارية على قردة macaque، التي تشترك مع البشر بحدود 93% في نسبة الحمض النووي. في كلي الدراستين، تبيّن أنّ مجموعة القردة، التي تمّ التحكم بعدد السعرات الحرارية في تغذيتها، قد عاشت فترة 3 سنوات أطول متمتعة بصحة جيدة، أكثر من المجموعة، التي تعيش في نفس الظروف ولكنّها حصلت على سعرات حرارية أكثر. وعلى الأقلّ، عاش 4 من القردة، التي خضعت لتقييد السعرات الحرارية، فترة أطول وسجّلت رقما قياسيا لكافة قردة المكاك الموجودة في حدائق الحيوانات[210]. وهذا أمر يبعث على التفاؤل.

قامت معاهد الصحة الأمريكية بتمويل دراسة بعنوان (تقييم شامل للآثار بعيدة المدى لتخفيض عدد السعرات الحرارية CALLERIE). شارك في الدراسة 34 شخصا لتخفيض تناول السعرات الحرارية بنسبة 15% لمدة عامين. وافق هؤلاء على الخضوع لفحص الدم أسبوعيًّا وكذلك فحص العظام والبول ودرجة حرارة الجسم الداخلية وفحوصات أخرى. كما أنّهم امضوا فترات تطول فترة 24 ساعة في غرف محكمة، بحيث يمكن قياس تنفسهم لمعرفة نسبة الأوكسجِن مقارنة بنسبة ثاني أكسيد الكاربون. واعتمادًا على كلّ ذلك، توصّل الباحثون إلى أنّ تخفيض مقدار تناول السعرات الحرارية بنسبة 15%، يقلل التمثيل الغذائي metabolism بمقدار 10%. برغم أنّ الدراسة لم تقرّر بأنّ الأشخاص، الذين ما زالوا على قيد الحياة سيعيشون حياة أطول، لكنّ الباحثين استنتجوا أنّ انخفاض التمثيل الغذائي قد أدى إلى «قلة الإجهاد في الخلايا وإمكانية العيش بصحة أفضل وأطول عند الإنسان، كما كان الحال في قضية قردة المكاك»[211].

الموضوع الآخر، الذي يمكن النظر فيه بقصد معرفة كم نعيش، هو العودة إلى الأجيال الأولى من الإنسان البدائي. كان *كِلگامِش* و*مَتوشالح* من اقدم البشر، الذين لدينا معلومات عن حياتهم. غير أنّ أطول البشر عمرا في القرن التاسع عشر هي امرأة فرنسية متميزة اسمها جين *كالمَيه*.

وُلِدت هذه السيدة عام 1875 في مدينة آرليه. قابلت الفنان *فان* كو حين كانت في سنّ 12 عامًا وتزوّجت إبن عمّها عام 1896. توفي الزوج عام 1942، وقت كانت جين تبلغ من العمر 67، فبدأت مرحلة جديدة من حياتها.

حين بلغت من العمر 90 عامًا، اقنعها محام شاب اسمه *فرنسوا رافرَي* بأن يشتري شقتها بموجب عقد يضمن لها البقاء في تلك الشقة على أن يدفع لها شهريا مبلغ 2500 فرانكا، أي ما يعادل 500 دولارًا في أيامنا هذه، حتى تحين وفاتها، ليتملك صاحبنا بعدها الشقة. لكنّه ما علم ماذا يخبّأ له القدَر...

كانت جين تتناول يوميًّا ما مقداره پاوندَين من الشكولاته وثابرت على ركوب دراجتها الهوائية حتى بلغت من العمر 100 عامًا. ظلت نشطة حتى بعد بلوغها سنّ 110 عامًا. بدأت تظهر بطئً في حركتها بعد أن وقعت على الأرض في سنّ 115 عامًا. أصبحت شخصية معروفة وازدادت شهرتها عامًا إثر عام.

كان *رافرَي* ملزما بالاستمرار بدفع الشيكات الشهرية بموجب العقد، فبلغ مجموع ما دفعه لها أكثر من قيمة الشقة. وحين توفي وهو في سنّ 77، وجدت أسرته أنّها ملزمة قانونيا بمواصلة الدفع الشهري لغاية وفاة جين عام 1997 عن 122 عامًا، أكثر بعامين من الحدّ الذي وضعه *ياهوَي*، كما ذُكّر في الإنجيل، سفر التكوين 6:3. (لم يُظهِر الإنجيل أنّ *ياهوَي* كان عارفا بقضية تناول الشوكولاته!)

ألِف العديد من الكتب عن سبب طول حياة جين. لقد عزت ذلك بقولها، وهي ثابتة الجنان، «إنّ طول عمري راجع إلى انخفاض مستويات الضغط العصبي لديَ وموقفي الإيجابي من الحياة». لكنّ الجينات لعبت دورًا رئيسيًا. ذكرت قولها المشهور بأنّها «لاحظت تجعيدة بسيطة في وجهها فأخفتها!».

تظهر لنا قصة جين *كالمَيه* البهيجة الحدود الممكنة العليا للعمر اعتمادًا على البايولوجيا وخيارات التدخل الأخرى. ولكي نكون أكثر تنظيما في نظرتنا، باستطاعتنا أيضا أن نفهم مجموعة كبيرة من المعمّرين مثل جين لنرى ماذا جعلهم يعيشون حياة أطول. وهذا بالضبط ما فعله نير *برزِلاي*.

باعتباره مدير **معهد بحوث الشيخوخة** في كلية ألبرت آينشتاين الطبية، وأيضًا لكونه أحد خبراء العمر المديد، استطاع نير إقناع عدد كبير من المعمرين من اليهود الإشكناز، ممّن زادت اعمارهم عن 100 عامًا، من سكنة ولاية نو يورك لفترة طويلة. يمكننا وصف جهود نير بعبارات كثيرة، لكن لا أحد منها يمكن أن يفيه حقه. رغم أنّ البعض وصفه بأنّه عفريت مثله مثل *أوستِن پاورز*، فإنّه حقا عملاق في ميدان دراسة طول الحياة.

لقد صادف أن التقى بعدد متميّز من الناس، من قبيل *آرفِنگ كوِن*، الذي عمل في ميدان الاستثمارات المصرفية حتى توفي وهو في سنّ 109 عامًا. سجّل هو وأخوته معدلات عالية في البقاء على قيد الحياة تفاوتت بين 109 و103 و101 عامًا. أمّا *إرما دانيل*، وهي معمّرة أخرى من مجموعة المعمّرين الذين درسهم نير، فقد كانت حادة الذكاء من الناجين من معسكرات الاعتقال النازية في أوروبا. عملت قاضية في محكمة مدينة هوپوكِن في ولاية نو جرزي حتى بلغت من العمر 106 عامًا. قام نير وفريقه من الباحثين بدراسة كاملة لتاريخ هؤلاء وإجراء تسلسل لجيناتهم وأخضعوهم لعدة اختبارات لمعرفة الأسرار الخاصة بطول البقاء. ورغم أنّ البحوث جارية، فقد اظهرت بجلاء أنّ العادات الصحية الجيدة يمكن أن تساعد الناس أن يعيشوا حياة أطول وأنّ أفضل ضمان اليوم ليعيش الفرد أكثر من 100 عام، يعود إلى جيناته السليمة.

لا يعيش هؤلاء المعمّرون حياة طويلة فقط، بل أنّها أيضًا حياة صحية، إذ يحافظ العديد منهم على ملكاتهم العقلية حتى فترة متأخرة من حياتهم، ويموتون في العادة إثر فترات مرض قصيرة[212]. وجدت دراسات **معهد بحوث سكِپس** لتسلسل الجينات لحوالى 1400 شخصا تزيد اعمارهم عن 80 عامًا، أنّه يبدو أنّ عوامل الجينات لدى هؤلاء قد ساعدت في حماية قدراتهم العقلية، كما وقتهم من الأمراض المزمنة الرئيسية[213]. رغم أنّ المفاهيم الشائعة عن الأشخاص المعمّرين هو أنّهم مشدودون لأجهزة التنفس في غرف المستشفيات، فإنّ الكلفة العلاجية لكلّ شخص يتجاوز 100 عامًا تشكّل فقط 30% من الكلفة العلاجية لشخص يتوفى وهو في سنّ 70 عامًا.

وجد نير والباحثون الآخرون أنّه في الوقت الذي يكون فيه من المتوقع أنّ العديد من المُعمّرين يصابون في النهاية بأمراض پاركِنسُن وألزهايمر وأمراض القلب بنسب عالية، لكنّهم بشكل أو بآخر لا يقعون ضحايا لتلك الأمراض[214]. ركّز نير وفريقه على الجين ADIPOQ الشائع بين كافة الناس، لكنّه غير موجود بين كبار السنّ والمعمرين، وهذا هو السبب الذي يبدو أنّه يحميهم من التهابات الشرايين. غير أنّ عددا من الباحثين الآخرين شخّصوا عشرات الجينات، التي تحمي البشر من الاضطرابات العقلية، بطريقة أو بأخرى[215]، وزيادة مستويات الكولسترول[216]، وتوفر حماية أكثر من مرض ألزهايمر[217]، وتزيد من عمر الشخص بشكل عام[218]. كما وُجِد أنّ جينات أكثر مرتبطة بطول العمر ويتمّ تحديدها بشكل سريع.

يُقال إنّه إذا أردت أن تعيش لغاية سنّ 90 عامًا، فتناول طعامًا جيدا واسترخي ونَم بشكل معقول ومارس الرياضة. إذا كنت تبغي تجاوز سنّ 100 عامًا، فيجب عليك اختيار والديك بعناية! لكنّ مثل هذا القول المأثور، قد يثبت أنّه ليس أكثر من كلام فارغ، إذا نظرنا إليه من الناحية العلمية.

إنّ تحديد مزيد من الجينات، يمكن أن يزيد من فرصنا لحياة صحية أطول إذا اقدمنا على خيارات جيدة. برغم أنّنا غالبا ما نشعر بأنّ اختيارات أنماط الحياة مسألة منفصلة عن الجينات، فإنّها في الحقيقة ليست كذلك. تؤثر خيارات أنماط الحياة بشكل هامّ على الظروف التي تحيط بالجينات وتؤثر في كيفية عملها. إنّ فهم أيّ من الأنماط الحياتية تسهّل طريقة تعبير الجينات عن نفسها، وهي تخبرنا بذلك ماذا يجب أن نفعل للعيش حياة صحية أطول، ولكن أيضا عل الأقل أن نخدع جيناتنا والبايولوجيا الخاصة بنا، وننتبه للخيارات الذكية، التي سهونا عنها.

حاول *دان بوتنَر* العامل في مجلة ناشونَل جيوگرافي أن يفكّ شفرة أنماط الحياة والخلفيات المتنوعة، التي تعود بالمنفعة الكبيرة على الفرد، وكرّس جهوده على الفترة المتوقعة لحياة الإنسان حول العالم، عن طريق البحث في الإحصاءات العالمية حول الشعوب، التي تميل إلى العيش طويلًا. توصّل إلى عدد من المدن والمناطق، التي تعطي أولوية لهذه المسألة، وهي إيكاريا في اليونان ولومالِندا في كاليفورنيا ونِكويا في كوستَريكا وأوكيناوا في اليابان وسردينيا في إيطاليا. أطلق عليها اسم المناطق الزرقاء وانطلق لكشف القواسم المشتركة بينها.

في عام 2005 كان غلاف مجلة ناشونَل جيوگرافي يحمل عنوانا بهذا الخصوص. ثمّ تبعه صدور كتاب في عام 2008 بعنوان، المنطقة الزرقاء: دروس من عيش حياة طويلة على ألسنة

المعمّرين في تلك الأماكن. وصف دان كيف أنّ الناس في المناطق الزرقاء مثابرون على القيام بما يلي.

1. القيام بنشاطات طبيعية معتدلة، منها القيام من أماكنهم والتحرّك كلّ 20 دقيقة، أو ما شابهها. لا يعني ذلك ذهابهم إلى مراكز التدريب الرياضي gyms، بل الذهاب إلى المدينة أو مركز القرية لقضاء بعض حاجاتهم.

2. وضع اهداف لحياتهم، أو ما يسميه اليابانيون إيكِگاي.

3. أداء بعض الشعائر الدينية اليومية لتخفيف ضغوط الحياة النفسية.

4. تناول مقدار معتدل من السعرات الحرارية يوميًّا.

5. التركيز على التغذية النباتية، التي تتكون في العادة من الحبوب والدرنات، مثل البطاطا واللفت والبنجر، والجوز والأوراق الخضراء والبازلاء.

6. استهلاك كمية محدودة جدا من الكحول، والأفضل تحاشيه تماما.

7. المساهمة في النشاطات الروحية والدينية مع الآخرين.

8. الحرص أن تكون الحياة داخل الأسرة حافلة بالنشاطات والتعاون المشترك.

9. الارتباط الملتزم بحلقات من الأصدقاء الأوفياء ومشاركتهم ومساعدتهم في مختلف النشاطات الاجتماعية بشكل منتظم[219].

لا يعني الأمر أنّ أولئك الناس الساكنين في المناطق الزرقاء أن يكونوا بالضرورة معمّرين، ولكنّ نسبا عالية منهم يعيشون معدل حياة صحية طويلة. وعليه فإنّ العيش كما الناس في المناطق الزرقاء، يمكن أن يعطينا درسا لنعيش حياة أطول من حياة جيراننا، ولا يعني بالضرورة أنّنا سنعيش حياة أطول من حياة جين *كالَميه*، التي أكلت من الشكولاته أكثر ممّا أكلت من الجوز والبطاطا واللفت والبنجر. إضافة إلى النظر في طرق عيش الإنسان والمجتمعات ولماذا يعمّرون

لحياة أطول من حياة غيرهم، لا بُدّ من كشف سرّ الجينات لمعرفة شفرة طول البقاء، لدى الأنواع المختلفة من الكائنات، التي تعيش فترات زمنية متفاوتة. فعلى سبيل المثال تعيش الفأرة في الطبيعة لمدة 3 سنوات وفي المختبرات لمدة 4 سنوات. غير أنّ قريبنا جرذ الخلد الأملس naked mole rat فيعيش لفترة 31 عامًا.



Source: http://www.sciencemag.org/news/2018/01/naked-mole-rats-defy-biological-law-aging

جرذ الخلد الأملس

تعيش هذه الجرذان في اثيوبيا وكينيا والصومال في جحور تحت الأرض على شكل جماعات. وهي ناعمة الملمس، وتعمّر أكثر من المتوقع قياسا إلى حجم جسمها. من المعروف أنّ الكائنات الأكبر حجما تعيش فترة أطول من الكائنات الصغيرة. ورغم ذلك فإنّ الأقلّ حجما في المجموعة الأولى يمكن أن يعيش لفترة أطول من الأكبر حجما بينها[220]. تقضي الجرذان الملساء معظم حياتها بصحة جيدة أفضل من الكائنات الأخرى. وهي قادرة على إصلاح الخلل في جيناتها بشكل مستمر وتشعر بقدر قليل من الألم ولديها مناعة ضدّ السرطان. ولهذه الأسباب مجتمعة، يميل العلماء بشكل متزايد على وضع تسلسل الجينوم لها وتحليل البيانات الكثيرة عنها واستخدام أحدث الآلات لمعرفة أسباب نجاح هذا الكائن.

تمتلك شرك كالِكو التابعة لشركة گوگِل في سان فرنسِسكو، عددا كبيرا من جرذان الخلد هذه لإجراء البحوث بقصد معرفة المؤشرات الحيوية للشيخوخة، وكشف أسرار بقاء هذا الجرذ حيّا

لفترة طويلة نسبيًّا[221]. هناك دراسات أخرى بدأت تطرح فرضيّات حول الأمور، التي تساعد هذه الكائنات أن تعيش سالمة حياة طويلة، والهدف من ذلك هو زيادة عمر الإنسان وجعل جسمه مقاوما للسرطان.

تفترض إحدى الدراسات، أنّ جينات جرذان الخلد الملساء تنتج مستوى عاليًا من البروتين المسمّى HSP25، الذي يعمل على إزالة أيّ بروتين آخريحمل خللا في الخلايا قبل أن يتسبب في حدوث أيّة مشكلة[222]. كما وجدت دراسة أخرى أنّ الجرذان المذكورة لديها 4 أقسام من ribosomal RNA، وهو التركيب الذي يحوّل شفرة الحمض النووي إلى تعليمات للخلايا كي تنتج البروتين، بدلًا من 3 أقسام اعتيادية لغالبية اشكال الحياة متعددة الخلايا، كما عندنا نحن البشر. ولسبب يجهله العلماء تماما، فإنّ RNA ذا 4 أقسام في جسم هذا الجرذ يجعل حدوث خلل أو خطأ أقلّ بشكل هام من مركب RNA ذي 3 أقسام، وهو الشائع لدى الثدييات الأخرى[223].

تشرح الباحثة *فيرا گوربونوفا* نظرية منطقية عن أسباب طول حياة جرذان الخلد وتمتعها بصحة أفضل، حسب توقعنا، مقارنة ببايولوجيا الفئران الأخرى. تعيش جرذان الخلد في جحور تحت الأرض في منأي من الحيوانات المفترسة لها. وسبب احتمال قتلها أو افتراسها من قبل الحيوانات الأخرى، تستثمر الفئران معظم طاقتها التطورية في الإنجاب السريع. أمّا جرذان الخلد وبحكم قدرتها على حماية نفسها بالعيش داخل الجحور بمنأى من الحيوانات الأخرى، فإنّها تستثمر طاقتها التطورية في العيش لحياة أطول[224]. تحاول الباحثة *گوربونوفا* وزوجها العالم *أندريه سَلونوفه* استكشاف إمكانية أن يهندسا التركيبات الجينية الفريدة لجرذان الخلد الملساء لخلق فئران ومعرفة إن كانت هذه الأخيرة ستعيش حياة أطول.

النموذج الآخر من الحيوانات، التي تعيش فترة طويلة، هو البطلينوس الصلب hard clam واسمه اللاتيني Mercenaria mercenaria، وحيوان البطلينوس القريب منه في آيسلندا والذي يُسمّى quohog clam وباللغة اللاتينية Artica Islandical. يعيش البطلينوس الصلب ما يقرب من 40 عامًا. أمّا ابن عمه quohog clam فيعيش لأكثر من 500 عامًا. في الحقيقة لا أحد يعلم علم اليقين كم يعيش هذا الكائن، لأنّ الباحثين في آيسلندا الذي اكتشفوه عام 2006 فوجوده بعمر 507 عامًا (حُسب عمره اعتمادًا على الحلقات المرسومة على صدفه shell.) إنتهى الأمر نهاية مفجعة، لأنّهم قتلوه عرضا حين حاولوا رفعه من قاع المحيط وفتحوه لقياس عمره.

شملت دراسة أخرى إجراء مجموعة من الاختبارات للمقارنة ما بين quohog clam وأخرى عن اقاربه من البطلينوس الصلب، الذي يعيش حياة قصيرة. وُجِد أنّ كوّهو گ لديه مقاومة ملفتة للنظر لضغوط الأكسدة oxidative stress، وهو الضرر الذي يصيب الخلايا حين تتعرض إلى الجزيئات الإلكترونية غير المستقلة EUM وتُسمى الشوارد السائبة free radicals، التي تتجمع في جسم الحيوان بمرور الوقت. وهذه على الأغلب هي العوامل الرئيسية في إدامة الحياة[225]. جعلت هذه النتائج الباحثين يتوجهون لدراسة ضغوط الأكسدة باعتبارها عناصر منتظمة ومحتملة في عملية كِبر السنّ بين الحيوانات، بما فيهم البشر.

نموذجي المفضل من الحيوانات، التي تكشف جهلنا بمسألة كبر السنّ وماذا يمكن أن يكون أو ما هو ممكن هو نوع من قناديل البحر Jellyfish الخالدة، واسمه اللاتيني Turritopsis dohrnii. من الصعب على الفرد ألّا يشعر بالغبطة بصدد قناديل توريتوپِسِس هذه. كغيرها من قناديل البحر، تبدأ حياتها بالبيوض المخصبة التي تتفقس بعد مدة عن يرقات تغطس إلى قاع المحيط وتتجمع على شكل مستعمرات تتوسع وتنمو وتخرج في النهاية قناديل متماثلة جينيّا. غير أنّه حين تتعرض للخطر أو قلة الغذاء، تعود قناديل توريتوپِسِس، على خلاف قناديل البحر الأخرى، فتغيّر جسمها من حالة النضوج إلى حالة اليرقات، شيء يشبه عودة الشخص البالغ إلى حالته الجنينية.

إنّ مقارنة بايولوجية قناديل البحر الخالدة باخواتها المماثلة غير الخالدة، قد ساعدت العلماء كيف أنّ الأجيال القادمة من البحوث حول الخلايا الجذعية المحفزة/المُستحثّة قد ساعد في فكّ أسرار تجدّد الحياة، ولربّما إطالة أمد الحياة البشرية[226].

انفصلت رحلة تطور البشر عن قناديل البحر قبل حوالى 600 مليون عامًا مضت. وهذه فترة زمنية بعيدة. ولكن معرفة المزيد عن جرذان الخلد الملساء وكيف تعيش طويلًا، ولديها مناعة ضدّ السرطان، وكوَهوگ آيسلندا وكيف يستطيع تخفيض سرعة التمثيل الغذائي لحماية خلاياه من الأكسدة، وقناديل البحر الخالدة أن تستمر في خلق نفسها باستمرار، كلّ هذه تعطينا إشارات وتلميحات عن كيفية حدوث عملية كِبَر السنّ، وكيف يمكن لنا أن نتلاعب بها من أجل منفعتنا.

* * *

يعود أصدقائي، الذين ليس لديهم أطفال وأنا منهم، من زيارة أصدقاء آخرين لنا ممّن لديهم أطفال صغار، وتعلو وجوهنا نظرة حيرة. إنّ هؤلاء الأطفال عجيبون في الطاقة الهائلة التي يزخرون بها. الحوار الداخلي في ذاتنا هو أنّهم شيء رائع لمدة ساعتين. لكنّ هذه المسؤولية بالتأكيد ساحقة، لو كان هؤلاء أطفالنا ونحن مسؤولون عنهم طيلة الوقت. (بطبيعة الحال، إنّ مثل هذه المشاعر وراء بقاء العديد منّا يقاوم فكرة أن ينجب أطفالا.) لكنّ الأساس البايولوجي لكلّ هذا الطاقة له آثار على مسألة الشيخوخة.

تعيش كافة الحيوانات على استخدام الطاقة، لكنّ قدرتنا على معالجة مصادر الطاقة، التي تتوفر لدينا، محدودة. في كلّ لحظة، تحتاج خلايانا أن تخمّن كيف تخصص تلك الطاقة المتوفرة لديها، يوجد أمامها اختياران، هما النمو والإصلاح. حين نكون صغار السنّ، نحتاج المزيد من الطاقة لكي ننمو. وهذا هو السبب الذي يجعل الشباب، مثلا لديهم الكثير من التمثيل الغذائي. ويبدون أحيانا نشطين للغاية أو يحرقون الكثير من السعرات. غير أنّ حرق هذه الطاقة، له عوامل سلبية. إنّه يشبه قيادة السيارة في سرعة قصوى، لإنّه يجهد الخلايا ويستهلكها. لكنّه يتوفر للخلايا خيار آخر، وهو تخصيص الطاقة بشكل محافظ بقصد إصلاح التلف، مثلما الكوَهوگ، أو كما نفعله نحن في حالة تقنين السعرات الحرارية أو التحكم بعملية الضغوط النفسية. وهذا يشبه تحول الكومبيوتر إلى حالة تخفيض صرف الطاقة الكهربائية باللجوء إلى «حافظ الشاشة» screen saver، أو حين تقود جدتك سيارتها بسرعة 20 ميلا، في الساعة وتحرص كثيرا على إيقاف سيارتها في مرأبها.

تعمل الخلايا ذلك بتنظيم مقدار امتصاص السكر glucose، الذي نحتاجه من أجل البقاء على قيد الحياة. في العادة، تستعمل الخلايا السكر بكثرة من أجل النمو، وفي حالة قلة ذلك تبدأ الخلايا بمهمة الترميم والإصلاح. أظهرت نماذج الحيوانات مثل الدودة المدورة وذباب الفواكه والفئران، أنّها تتحوّل من حالة النمو لحالة الإصلاح. إنّها ليست فقط أكثر قدرة على اجتياز العقبات، لكنّها أيضًا قادرة على البقاء لحياة أطول وفي وضع صحي جيد. حين حاول العلماء، مثل عالمة الأحياء سِنثيا كِنيوَن، التي كانت وقتها أستاذة في جامعة كاليفورنيا، فرع سان فرانسسكو ثمّ تحولت للعمل في شركة كاليكو التابعة لگو گِل، استخدام أدوات جديدة لفتح واغلاق المفاتيح الجينية لكلّ من جين Daf-2 وجين Daf16 بحيث تستطيع تغيير مهمة الخلية من النمو إلى الإصلاح وبالعكس، ضاعفت بذلك فترة حياة الدودة المدورة C-Elegans[227]. زاد هذا من إدراكنا أنّ عملية الشيخوخة يمكن تنظيمها بشيء يشبه قبضة الباب، حيث يمكنك أن تفتحه أو تغلقه متى شئت.

تبدو فكرة «قبضة الباب» في أعلاه لكي نعرف طول الفترة التي نعيشها، لمعظم الناس شيئًا غريبا. ولكن بشكل ما، إنّنا نمتلك في نظامنا البايولوجي القدرة على إعادة عقارب الساعة إلى الوراء، كما حال بعض قناديل البحر، بدليل أنّنا لا نعود أطفالا لكنّ جيناتنا قادرة على تكوين أطفال جدد.

ولكن حتى لو فهمنا بشكل أفضل الميكانيكية الخفية للشيخوخة وآمنّا أنّ إعادة برمجة بايولوجيا أجسامنا، إن كان ذلك ممكنا، للحصول على حياة صحية أطول، فالسؤال هو كيف نعمل ذلك وكيف يبقى ذلك فاعلا في المستقبل.

حين نقرأ كتابا عن العلم، فإنّ آخر شيء يرغب فيه معظم الناس هو تذكيرهم بشيء لا يحبون التفكير فيه. لكنّ العلم حول الشيخوخة له حدود واضحة بأنّ خيارات أنماط الحياة الجيدة هي أفضل طريقة لاختراق إشارات الظروف المحيطة بالجينات[228].

لا أبغي من هذا الكتاب أن يكون دليلا. ولكن إذا أردت أن تعيش حياة طويلة صحيّة، فإنّني أنصح أن تقرأ جيدًا الدروس التي استخلصها دان بوتنر عن المناطق الزرقاء، خاصة ما يتعلق بالرياضة والحركة كلّ يوم، وأن تجد مركزا روحيا لتنتظم إليه وتضع لحياتك هدفا معينا وتقلل من مستوى الضغوط والقلق النفسي لديك وتحاول تغيير برنامجك الغذائي كي لا يكون غنيًّا في مقدار السعرات الحرارية وأن تستثمر جلّ وقتك بنشاطات مشتركة مع عائلتك واقاربك وأن تتوقف عن تناول الخمور. سأضع نفسي في مشكلة إن لم اذكر كتاب أخي جوردن عن الفوائد الصحية المنتظمة من إجراء التدريبات الرياضية. Jordan Metzl, The Exercise Cure: A Doctor’s All-Natural, No Prescription for Better Health and Longer Life (Rodale, (2013) telomeres، وهي امتدادات الحمض النووي في نهاية الكروموزومات في أجسامنا. تساعد هذه التِلوميرات على حماية سلامة «المعلومات» داخل الكروموزوم. (مثلها مثل غطاء البِلاستِك في طرف رباط الحذاء). تصبح التِلوميرات أقلّ طولا كلما انقسمت الخلية وتقل قدرتها تدريجيا على حماية «المعلومات» الجينية من الطفرات الضارة. برغم أنّه ليس معروفا إنّ كان قصر التِلوميرات سببا أو أثرا للشيخوخة، فإنّ التِلوميرات القصيرة مرتبطة بسرعة تقادم العمر والمخاطر العالية المتعلقة بأمراض الشيخوخة[229].

ولكن حتى لو كنّا لا نعيش مثل الناس في المناطق الزرقاء، فيجب أن نعرف أنّ نظامنا البايولوجي واختيار أنماط سلوكنا في الحياة ليست أشياء مختلفة في سياق صحتنا وطول حياتنا. وبدلا من ذلك إنّها نقاط مترابطة على طول امتداد طيف هذه الحياة. تساعد اختيارات أنماط حياتنا أن ندرك إمكانية نظامنا البايولوجي. يساعد هذا النظام على تقرير مدى كافة هذه الأنماط من الخيارات وما يستطيع قبوله منها. ونظرا لأنّنا بشر، فإنّ أغلبنا يرغب في إيجاد طريقة للفوز بأكثر ما يستطيع.

إنّنا نعرف أنّ أجسامنا بُنيت وفق ميكانيكية جينية تكفل لنا الحياة، وهي ما ضمن البقاء لأجدادنا في الماضي رغم ندرة الغذاء والضغوط النفسية، التي يمكن أن توجّه لصالحنا الآن. رغم أنّ غالبية البحوث الأولية حول الجينات لإطالة أمد الحياة الصحية قد ركّزت على معرفة استجابة الجسم البشري لتقييد السعرات الحرارية وعدم توفرها، فمن المنطقي أن نسأل إنْ كان يجب علينا جميعا أن نعيش وفق نظام غذائي مقنن محدود السعرات الحرارية. من الممكن أن يساعدنا ذلك، لكنّني لن أوصي به بالضرورة. رغم أنّ الدراسات التي اجريت على الحيوانات مقنعة جدّا، لكنّها لم تبرهن تماما أنّ تقييد السعرات الحرارية يمدّ في حياة الإنسان ويديم صحته. السبب أنّه ربّما من الصعب اختبار هذه الفرضية على البشر.

ومع ذلك، فإنّ المجتمعات التي تحدّ من تناول السعرات الحرارية منتشرة في الولايات المتحدة وفي العالم اجمع خلال العقود المنصرمة. تمّ اقتناع الأفراد الملتزمين للغاية بالحدّ من تناول السعرات الحرارية، أملا في زيادة أمد حياتهم. أمّا بالنسبة للناس الآخرين، فقد اقتصر تناول السعرات إلى ما يقرب من 1500 سعرة في اليوم للذكور و1800 سعرة للأناث. اقترحت دائرة الغذاء الأمريكية في وزارة الزراعة، 2000 سعرة حرارية يوميًّا للمرأة العاملة و2500 سعرة يوميًّا للرجل العامل. ربّما يكون هذا التقنين ليس بالأمر المرغوب فيه طيلة حياة الفرد، وربّما أنّ هذا القدر لن يوفر التوازن الغذائي الصحي المطلوب، وأنا شخصيا لست متحمّسا لمثل هذا التقييد الصارم.

لكنّ الدراسات الحديثة وجدت أنّ تخفيض السعرات بشكل كبير لمدة 5 أيام متتابعة في الشهر ولمدة شهرين في السنة، قد يؤدّي إلى نفس استجابة الجسم للتعوّد على ذلك، ويوفر للفرد نفس المنافع وكأنّه قد حصر تناوله من السعرات كلّ يوم[230]. القضية اعتمادًا على بحوث الحيوانات حول

إخضاعها للصوم المتقطع، لا تظهر نتائج مثل التقيّد المستمر في تناول السعرات. لكنّ الصوم مرة كلّ فترة، أو لساعات معينة في اليوم، قد تبدو طريقة سائغة للاستفادة على الأقلّ من منافع البروتين ضمن نظام تقييد السعرات، دون الشعور بالتعاسة طيلة الوقت.

لربّما يكون الخيار الجذاب، على الأقلّ بالنسبة لبعض الناس، هو ممارسة الرياضة والتدريب باعتبارهما متعة، وأنا واحد من هؤلاء المتحمسين لهذا الخيار[231]. بالنسبة لبعض الأفراد يعتبرون ذلك التدريب واجبا. لو اعطيت أحدهم حبّة تؤدي نفس الغرض المتعلق باستجابة الجينات والتمثيل الغذائي في أجسامهم، كما لوكانوا قاموا بتلك التمارين، فإنّ اغلب الناس سيوافقون على ذلك، وقد يدفعون مبلغا كبيرا لقاء ذلك وسيسارعون إلى الصيدليات لاقتناء تلك الحبوب. لكنّ هذه الحبوب لن تعوّض عن تحوّل الخلايا إلى حالة مهمة إصلاح كلّ ما هو فاسد أو فيه خلل منها. ممارسة الرياضة والتدريب تحقق مثل هذه المهام مجانا.

تابعت دراسة حديثة لحالات 650000 شخصا على مدى 10 سنوات، وقامت كذلك بتحليل تقارير الوفاة لحوالى 100000 شخصا، في محاولة لتحديد كمية ما يستثمره الفرد وما يجنيه من الفوائد جرّاء هذه التمرينات. وجدت الدراسة أنّ 75 دقيقة أسبوعيًّا من التمرينات المعتدلة مثل المشي بنشاط، قد يضيف لعمر الفرد معدل سنتين، مقارنة بطول حياة الشخص الخامل. إذا كان معدل فترة التدريب الأسبوعي 2.5 ساعة إلى 5 ساعات، فإنّ ذلك يزيد من عمر الفرد ما مقداره 3.5 عامًا. أمّا إذا تدرّب الشخص لساعة يوميًّا أو 450 دقيقة أسبوعيًا، فإنّ ذلك يمدّ في عمر الفرد ما معدله 4.5 عامًا[232].

ومع كلّ هذه المنافع، فإنّنا لا نجد كافة الأشخاص راغبين في تقنين مقدار السعرات الحرارية أو التدريب المنتظم. وحتى أولئك الذين يقومون بكلي النشاطين فإنّهم يرغبون الحصول على منافع إضافية تساعدهم في عيش حياة صحية أطول. الأخبار الجيدة بالنسبة لنا جميعا، هو أنّ العقاقير الطبية تحاول تقليد مهام الجينات، التي نتمنى نكون ورثناها ونجني تأثير تقليص كمية السعرات الحرارية والتدريب، الذي كان يجب علينا ممارسته. إنّ كلّ هذا سيكون ممكنا جزئيا بفعل الأدوات الجديدة لثورة الجينات.

أحد الأسباب التي اخفّضت قدرتنا على إصلاح الحمض النووي بتقادم العمر، خلافا لجرذان الخلد الملساء، هو أنّ مستويات المركب المسمى NAD+ في خلايانا، تنقص بتقادم عمر

الحيوانات، ومنها نحن البشر. تزيد المركبات المذكورة نشاط مجموعة مكوّنة من 7 جينات وتسمّى Sirtuins من أجل زيادة قدرة الخلايا على إصلاح أيّ ضرر وترميم الحمض النووي. وكلما ازدادت كمية NAD+ في الخلايا، كلما ازدادت قدرة هذه الخلايا على إصلاح المشكلات في داخلها.

الطريق الواضح لإمكانية إصلاح المشكلات/الخلل/الضرر هو حقن مركبات NAD+ في الخلايا. غير أنّ هذه المركبات كبيرة يصعب حقنها عبر غشاء الخلية الخارجي. وبدلا من ذلك فكّر العلماء بطريقة لحقن مركبات اصغر سمّوها NMN وNR وتكون هذه قادرة على اختراق الغشاء الخارجي والإرتباط بمركبات NAD+ الموجودة أصلا داخل الخلايا.

حين تمكّن العالم *دِيفِد سِنكلير* وفريقه في جامعة هارفرد من تصميم هندسة فئران بالغة وجعلوها ذات مستويات عالية من Sirtuins السِرتوين أو استخدموا NMN لزيادة مستويات NAD+ فيها، وجدوا أنّ أجهزة جسم الفئران بدأت تعمل بشكل أفضل وزاد تحمّلها وازدادت مقاومتها للأمراض وبدأ الدم يتدفق في عروقها بنشاط أفضل وعاشت حياة أطول، مقارنة مع الفئران التي تماثلها في العمر[233]. وعليه فإنّ رفع مستويات NAD+، قد جعل خلايا تلك الفئران تتحول من مهمة النمو إلى مهمة إصلاح الخلل. بالرغم من أنّ محاولات من هذا القبيل على خلايا البشر ما زالت في بداية عمرها، فإنّ طلب السوق بدأ بالانفجار على حبوب NMN وNR، التي تباع كمكمّلات للتغذية في الولايات المتحدة دون تعليمات منظمة.

من العقاقيرالطبية الأخرى، التي تغير نشاط الخلايا من النمو إلى الترميم وإصلاح الخلل، دواء سحري عجيب اسمه مّتفورمِن Metformin. بدأ الأطباء يصفون هذا الدواء منذ خمسينات القرن الماضي، لكنّ تاريخ مكوّناته يعود إلى ما قبل ذلك بكثير. استخدم المولعون بطبّ الأعشاب في القرون الوسطى نبتة اسمها French Lilac لمعالجة العديد من الحالات المرضية ومنها التبول المتكرّر، وهو من أعراض مرض السكّري. في عام 1994 وافقت الإدارة الأمريكية للأغذية والعقاقير الطبية على استخدام المتفورمِن لمساعدة مرضى السكّري للمحافظة على المستويات المقبولة لنسبة السكر في دمهم. ونظرا لأنّ هذا العلاج متوّفر في الصيدليات منذ زمن، أصبح من المعروف أنّه علاج آمن نسبيًّا وأصبح تصنيعه وإنتاجه مشاعا ممّا جعل سعر الحبة منه لا يتجاوز 5

سنتات. يذهب اليوم إلى الصيدليات في أمريكا ما يقرب من 80 مليون شخصا، وهم يحملون الوصفات الطبية للحصول على هذا المتفورمِن.

نظرا لكثرة لجوء المرضى حول العالم لتناول هذا الدواء، بدأ الأطباء يلاحظون ثمّ اخذوا يدرسون النتائج الجانبية الفائقة لهذا الدواء، والتي تتجاوز معالجة مرض السكّري، ومنها تخفيض احتمال الإصابة بالسرطان[234]. في عام 2014 قارنت دراسة بين مفعول المَتفورمِن مع أدوية السكّري الأخرى، فلاحظ الباحثون أنّ من يداومون على أخذ هذا العلاج لا يعيشون فقط حياة أطول من أولئك الذين لا يأخذون هذا العلاج من مرضى السكّري، لكنّهم أيضا يعيشون حياة أطول من أولئك الذين لا يعانون من مرض السكري إطلاقًا[235]. وفي نفس العام، توصلت دراسة في سنغافورة أنّ المَتفورمِن قد خفض بنسبة 50% من مخاطر الإصابة بالضعف الإدراكي بين كبار السنّ من المصابين بمرض السكّري[236]. كما ظهرت سلسلة من الدراسات التي أجريت على الفئران مثل هذه النتائج الفائقة. عاشت ذكور الفئران التي اعطيت هذا الدواء بنسبة 6% أطول من تلك التي لم تحصل عليه. كما أنّ نفس المجموعة ظهرت بينها حالات قليلة من الإصابة بالسرطان مقارنة بالمجموعة الأخرى، التي لم تحصل على المَتفورمِن[237].

دفع مجموع هذه الدراسات الإيجابية العلماء للافتراض أنّ دواء المَتفورمِن لم يؤثّر على قلة من المرضى، ولكن له تأثير منتظم على الكائن الحي بكامله. إنّه يجعل الناس العاديين وكأنّهم معمّرين في تركيبهم الجيني، ويعيشون حياة صحية أطول أو أنّهم من سكان المناطق الزرقاء. وهذا استنتاج واقعي مقبول. تقوم مادة الإنسولين بتذكير الخلايا عن حيان الوقت للنمو، وحين يكون في دمنا الكثير من هذه المادة بسبب التهامنا للحلوى أو بسبب الإصابة بمرض السكري، فإنّ خلايانا تستثمر معظم طاقتها في النمو على حساب مهمة إصلاح الخلايا وتعميرها. وحين نحصل على قدر معقول من الأنسولين سواء عن طريق التغذية أو ممارسة التدريب أو الحدّ من تناول السعرات الحرارية أو بالحصول على الأنسولين، فإنّ الخلايا تعود ثانية لتقوم بمهمتها الأخرى في الإصلاح والتعمير، مثلها مثل ما لاحظته *سِنثيا كِنيون* عند الديدان المدورة. يساعد هذا في تخفيض ضغوط الأكسدة كما عند بطلينوس كوّهوگ ويساعد في مكافحة الأمراض والعيش حياة صحية أطول كما جرذان الخلد الملساء.

لِلإجابة عن السؤال المتعلق فيما إذا كان المَتفورمِن المستعمل بانتظام يساعد لحياة صحية أطول بين الأفراد غير المصابين بمرض السكّري، حاول *نيل بارزِلَيه* وفريقه استكشاف إنْ كان هذا الدواء ذا فاعلية في تأخير حدوث العديد من الأمراض المتعلقة بطول العمر مثل القدرات الجسمية للفرد ووضوح التفكير لديه وجودة حياته. إنّ البرهان على أنّه يوجد دواء واحد مثل المَتفورمِن، الذي يستهدف عدة أمراض تتعلق بكبر السنّ في نفس الوقت، سيثير الكثير من الاهتمامات في ميدان الشيخوخة.

ربّما يكون NDA+ ومَتفورمِن في مقدمة الأدوية التي تعالج مسألة كبر السنّ، ولن يكونا إطلاقا آخر ما يستجدّ في هذا الميدان. هناك دواء عجيب آخر أثبت أنّه يطيل من عمر الحيوانات وتمّ تجريبه عليها حول العالم واسمه رَپَمايسين Rapamycin.

قام عدد من العلماء العاملين في شركة Wyeth لصنع الأدوية عام 1965 بزيارة لجزيرة إيستر في المحيط الهادئ للبحث عن بكتريا تعيش في التربة هناك، ولها القدرة على مقاومة نمو الفطريات. من بين آلاف العينات، التي جمعوها، كانت واحدة منه تحتوي على بكتريا لها القدرة على امتصاص المواد الغذائية في التربة ولا تسمح للفطريات بالنمو. أطلق العلماء على هذا المركّب اسم رَپَمايسين تقديرا لاسم الجزيرة الأصلي Rapa Nui.

إنّ قدرة رَپَمايسين الطبيعية لتأخير انتشار خلايا معينة ونموّها، جعل هذ المركّب مثاليا وكاملا لتعطيل المناعة، ممّا يعني تعطيل جهاز المناعة الطبيعية لدى الأفراد لرفض الأجهزة الجسمية المزروعة لعلاجهم. غير أنّ الأطباء بدأوا يلاحظون أنّ بعض الحيوانات وبعض المرضى من البشر، الذين يتناولون الرَپَمايسين، يبدون أفضل صحة من الحيوانات والبشر، الذين يتناولون أدوية أخرى. اكتشفوا بسرعة أنّ هذا الدواء ينظم التمثيل الغذائي في الخلايا ويحولها من مهمة البناء إلى مهمة الترميم وإصلاح الخلل، كما الحال في تناول قلة من السعرات الحرارية، التي لوحظت في تعاطي دواء المّتفورمِن. أطلقوا اسم mTOR على البروتين الخاص بهذه العملية.

وفي كلّ دراسة تقريبا، تزايدت القدرات السحرية لدواء الرَپَمايسين. فمن تنظيم نمو الخلايا، أثبت هذا الدواء أنّه فعّال في معاجة أمراض معينة حين يكون التمثيل الغذائي ونمو الخلايا خارجين عن السيطرة، بما فيه حالات السرطان ومرض السكّري وأمراض القلب والكليتين والاضطرابات العصبية والجينية، إضافة إلى البدانة[238].

وكما أشرنا فإنّ بطلينوس كوّهو گ في آيسلندا يعيش لأكثر من 500 عامًا لأنّه يستطيع إبطاء عملية تمثيل الغذاء ويحول طاقة الخلايا من النمو إلى الترميم وإصلاح الخلل. يكون من المعقول إذن أنّنا إذا حاولنا أساسا عمل نفس الشيء باستخدام علاج الرَپَمايسين يمكن أن نطيل في أمد حياة البشر. الدراسات التي أجريت على الخميرة والذباب والديدان والفئران والجرذان، على سبيل المثال، والتي اعطيت هذا الدواء، عاشت بنسبة 25% أطول، مقارنة بالكائنات التي لم تخضع لهذا العلاج، وهذا بحدّ ذاته إنجاز مذهِل[239]. شرع *مات كابرلَين*، الخبير في قضايا طول العمر وعلاج الرَپَمايسين، في إجراء دراسات رئيسية استمرت على مدى عدة سنوات لمعرفة تأثير هذا الدواء على حياة الكلاب وصحتها، كطريقة لفهم أفضل لتأثير هذا الدواء على البشر[240].

برغم كلّ هذه النتائج الواعدة، هنالك سبب جيّد لتردد العلماء في الهتاف لدواء الرَپَمايسين باعتباره إكسير الحياة. إنّ إضعاف جهاز المناعة الطبيعية لدى الفرد عند زرع عضو جديد بديل في جسمه، أنّنا نختار الاستفادة القصوى من أسوأ الأوضاع. صحيح أنّنا نستفيد من العضو البديل المزروع، لكنّنا ندفع الثمن بإغلاق جهاز المناعة لدينا، وهو الأمر الذي يجعلنا عرضة للإصابة بالفايرُسات الخطيرة والبكتريا الضارة، التي كان يمكن لأجسامنا أن تقاومها. أضف إلى ذلك أنّ دواء الرَپَمايسين له تأثيرات جانبية أخرى بما فيها الإصابة بفقر الدم وارتفاع مستوى السكّر في الدّم والعتم في عدسة العين وضعف اداء الخصيتين[241]. ليس واضحًا لحدّ الآن إن كان الأفراد الأصحاء الذين يتناولون هذا الدواء سيعانون من نفس هذه المخاطر.

يعمل الباحثون بجدّ الآن لكي يجدوا طريقة للاستفادة من علاج الرَپَمايسين أو أحد مشتقاته بغية التركيز على الصفات الإيجابية وتقليل احتمالات مخاطره الجانبية[242]. تتسابق شركات الأدوية المعروفة مثل Novartis والجديدة مثل PureHealth وكذلك Boston ‘s resTORbio لتصنيع أدوية تستخدم مركبات الرَپَمايسين لتحويل مهام الخلايا نحو الإصلاح والترميم، ممّا يُحسّن صحتنا ويعطينا الفرصة لعيش حياة أطول.

وقبل أن تكتمل هذه المحاولات البشرية، فليس في رأيي من الصواب أن يسارع الناس إلى تناول مركبات NR وNMR والرَپَمايسين والمَتفورمِن بقرار من ذواتهم ودون استشارة طبية، في محاولة لإطالة مدى حياتهم وتحسين صحتهم. وبعد قول ذلك، فوجئت بكثرة عدد الباحثين انفسهم من الذين يتناولون NR وNMR، وكم من الباحثين في دواء مَتفورمِن ممّن يتناولونه وكم من الباحثين

في دواء الرَپَمايسين يعترفون سرّا أنّهم يجربون الدواء على انفسهم. أعتقد أنّ العديد من الناس حول العالم وخلال هذه الحقبة سيستعملون العقاقير المقاومة للشيخوخة من التي تحتوي على مركبات الأدوية المشار إليها أو بعض مشتقاتها، إلى جانب مركّبات قد يتم تحديدها في المستقبل[243]. وعلى المستوى المثالي، فإنّ حبّة الدواء هذه ستكون شخصية تختلف باختلاف الفرد وتعتمد على الجنس والعمر وسجل تركيب الجينات لديه وحالة التمثيل الغذائي واختلاف المايكروبات، التي يتعرّض لها، إلى غيرها من العوامل الأخرى. لكنّ ذلك لن يكون الخيار الوحيد.

* * *

حين نكون شبابا وبصحة جيدة نسبيّا، تنشطر خلايانا بشكا دائم للتعويض عن نفسها. ولكن حين نكبر في العمر أو حين نواجه ضغوطا نفسية، تتوقف خلايانا عن اداء مهامها وتبدأ بالموت فيلفظها الجسم للخارج. إنّ مركبات هذه الخلايا الهرمة تزيد من مستوى الإلتهابات والحاق الضرر وتلف الأنسجة. وكلما ازددنا كبرا كلما تجمّع العدد الكبير من هذه الخلايا الهرمة. وهذا في حقيقته غير ضار بالكامل، لأنّ الخلايا الهرمة تعيق نمو خلايا السرطان والأورام الخبيثة، التي تزداد خطورتها بتقادم العمر.

لربّما يكون من الأفضل ألّا نتخلص من كافة الخلايا الهرمة وحرمان الجسم من منافعها. لكنّ تشذيب مستوى هذه الخلايا في أجسامنا يبدو الآن أنّه يساعد في العمل كما لو كنّا شبابا نتمتع بصحة أفضل. بعد أن قام العلماء بهندسة الجينات وتفعيل الخلايا المعدلة وراثيا أو ما يُسمّى «الجينات الإنتحارية» وارفقوها بالجينات الهرمة عند الفئران، لم تعش هذا الفئران فترة أطول بنسبة 25% فقط، لكنّها بدات تعيد نمو الشعر المفقود وزيادة قوة العضلات والأداء الأفضل لأجهزة الجسم وزيادة في حساسية مادة الأنسولين في الدم ومعدلات منخفضة في أمراض القلب وهشاشة العظام[244]. في شهر أغسطس من عام 2018 أخذ فريق من الباحثين في جامعة إنگلترا في مدينة إكسِتَر ثلاث تكوينات جديدة مختلفة للخلايا المعدلة في ميتوكوندريا Mitochondria الفئران، فأظهرت إشارات هامة على تجدد الخلايا الهرمة[245].

ومع وجود مثل هذه البحوث انطلق السباق لتطوير اختبارات للأدوية الجديدة المسماة Senolytics المخصصة لتشذيب الخلايا الهرمة من أجل معالجة بعض أمراض الشيخوخة،على أمل التوسع المتوقع في عمر الإنسان وتحسين صحته. تقدّم البعض من الأفراد للموافقة على حقن

«الجينات الإنتحارية» المهندسة وراثيا في الجينوم الخاص بهم. لكنّ العديد منّا يفضلون تناول الحبوب، التي لها نفس المفعول، لو كانت متوفرة. وعملا بذلك وضع العلماء الهولنديون سلسلة من الأحماض الأمينية Amino Acids لزيادة قدرة الجسم على التخلص من الخلايا الهرمة. ومن المثير للاهتمام أنّ هذه الأحماض الأمينية تؤثر على جينات Daf-16، التي شخّصتها *سِنثيا كِنيون* في دراستها للديدان المدوّرة. حين حُقنت الفئران الكبيرة السنّ بهذا المركّب بدأ شعر جلدها ينمو بشكل أكثف وأصبحت تركض ضعف سرعتها قبل أسبوعين فقط[246].

الفكرة الأخرى لمعالجة موضوع الشيخوخة تشمل التلاعب بالطريقة التي تستطيع فيها خلايانا من إعادة تدوير كتلتها الحيوية لاستخلاص الطاقة ولفظ البروتينات الضارة. وهي طريقة يسميها العلماء «الالتهام الذاتي» autophagy. تساعد هذه الطريقة الكائنات الشابة بشكل جيد، رغم أنّها قد تسبب أمراضا لها علاقة بالعمر في السنوات المتأخرة من الحياة. من العلاجات الجديدة المتوقعة لبعض أمراض الشيخوخة وقضية كبر السنّ ذاتها، تشمل استهداف القيام بخطوات معينة لعملية الإلتهام لمساعدة الخلايا الهرمة للتصرف وكأنّها خلايا شابّة.

تجري حاليا تجارب على البشر لاستكشاف تأثير الأدوية على الإلتهام والتحلل الذاتي للخلايا في بعض الأمراض المعنية المرتبطة بمسألة كبر السنّ، كخطوة أولى لمعالجة مسألة الشيخوخة ذاتها. لا يزال العديد من العوائق التي نحتاج التغلب عليها قبل أن تكون هذه الأدوية آمنة/صالحة للاستخدام البشري. نريد أن نتأكّد، مثلًا، أنّها لا تعمل على الحدّ من مناعتنا الطبيعية ضدّ السرطان، أو أنّها ربّما تسبب آثارًا جانبية، ونحن نتلاعب بتركيبات كانت طيلة بلايين السنين خاضعة للضوابط والتوازنات.

ولو أنّنا دُهشنا فعلا بعدد الطرق المحتملة لاختراق مسألة الشيخوخة، فيجب علينا أن نستعدّ لها. في الحقيقة لقد بدأنا لتوّنا بها.

* * *

إنّ مسألة إنجاب الأطفال تنسينا غالبا الدليل عن كبر عمر الإنسان، وهو نصب أعيننا. في كلّ مرّة يتكون فيها جنين، فإنّ شيئًا في خلايانا يعيد توقيت ساعتنا البايولوجية.

وكما نعرف، فإنّ كلّ خلية في أجسامنا تحتوي على المخطط الوراثي للجينوم البشري. وهذا هو السبب الذي يجعل من الممكن أن نستنسخ clone الفرد من خلية واحدة من خلاياه. لكنّنا سنكون في مشكلة عويصة إذا كانت كافة خلايانا البالغ عددها 30 بليون خلية، تطمح أن تكون كلّ منها شخصها. السبب في عدم حدوث ذلك هو أنّ الإشارات البيئية المحيطة بالجين في خلايانا هي التي تقرر متى يبدأ الجين بالعمل ومتى يتوقف. وحين نتطور من خلية واحدة متمثلة في البيضة المخصّبة لنكون كائنا بالغ التعقيد، فإنّ الإشارات الجينية تصمّم خلايانا لكي تتخصّص فتصبح خلايا للقلب وخلايا للجلد وغيرها، وكلّ منها يقوم بالعمل الموكول به.

إنّ اختراع *شِنيا ياماناكا* العجيب عام 2006 بأنّ العوامل الجينية التي سُمّيت باسمه تستطيع إعادة برمجة هذه الخلايا المتخصصة لتعود كخلايا جذعية. كما أنّ الظروف البيئية الجينية في الخلايا البالغة قد أزيلت، وهي شيء مماثل لما يحدث عند تكوّن الجنين.

ربّما تتذكّرون منذ أيام الطفولة، أنّه حين يفقد نجم البحر أحد أذرعه والعنكبوت أحد سيقانه والسحلية ذيلها، فإنّ تلك الأطراف تنمو مجدّدا. ولربّما تتذكّرون أيضا من الأفلام الأمريكية حول الحرب الأهلية أنّ البشر لا تتوفر لديهم مثل هذه القدرة. غير أنّ النظرة العميقة في الخلايا، التي تجدّد بناء الأطراف المفقودة، قد مكّن العلماء من إدراك أنّ تلك الخلايا تعود لتتفاوت في مسؤوليتها بين خصوصيتها في البناء من جهة، وما تحمله من صفات الخلايا الجذعية أصلا، فتعود لخلق الذراع والساق والذيل. إنّ تلك الخلايا تعود إلى ماضيها ولا تنسى الشكل الذي يجب أن تكون عليه.

لدى أخذ هذا الموضوع بالجدّ الذي يتطلبه، بدأ العلماء يتساءلون عمّا يحدث إذا استخدموا **عوامل ياماناكا** لإعادة الخلايا الهرمة المتخصصة إلى صورتها حين كانت شابة نشطة، بدلا من العودة إلى الخلايا الجذعية. من حيث المفهوم، يبقى الجين على حاله، لكنّ الظروف المحيطة به وبالتالي التعليمات التي يتلقاها كي يقوم بواجبه ستتغيّر. ومن المدهش، فإنّ إعادة برمجة جزئية لخلايا الجلد في صحن المختبر بدأت تتصرف وكأنّها خلايا جلد[247]. افترض البعض أنّه إذا أمكن تغيير الخلايا لتكون أصغر عمرًا، أليس من الممكن أن نستخدم نفس الطريقة لنجعل الكائن برمته شابا من الناحية البايولوجية؟

المرة الأولى التي حاول فيها العلماء ذلك انتهت بموت كافة الفئران ميتة بشعة، لأنّ أنسجة جسمها فقدت هويتها فأصبحت ميدانا للسرطان كي يتكاثر وينتشر بسرعة. غير أنّ الباحثين في

معهد سالْك تساءلوا إن كانت الفكرة صائبة أصلا أم أنّ مقدار الدواء كان خطأ. بعد التجريب، الذي امتد على مدى 5 سنوات لإيجاد طريقة فعالة غير قاتلة، استطاعوا التوصّل لهندسة جينات الفئران باستخدام نسخ من جينات **معامل ياماناكا**، واستعمالها فقط حين تتلقى الفئران منشطات محددة تمزج بالماء، الذي تشربه.

بعد محاولات عدة لهذه الستراتيجية المعدلة جزئيا على الفئران، التي تعاني من مرض Progeria، وهو مرض يتسبب في سرعة خراب الخلايا والمعاناة من الشيخوخة في وقت مبكّر، توصّل العلماء إلى نتائج غير متوقعة. الفئران، التي عولجت بإعادة برمجة جزئية للظروف المحيطة بالجينات، أنّ تلك الفئران بدت بشكل أحسن وبدأت انسجتها تعمل بشكل أفضل وعاشت بنسبة 30% أطول من الفئران، التي تعاني من نفس المرض ولم تحصل على ذلك العلاج. «أظهرت دراستنا أنّ الشيخوخة يمكن ألّا تسير باتجاه واحد»، حسب ما ذكر *خوان كارلوس بِلمونتَيه*، الباحث في **معهد سالْك**. أضاف يقول، «هناك مرونة في هذه القضية وباستخدام تعديل دقيق، قد يمكن إعادة عقارب الشيخوخة إلى الوراء»[248].

هناك مخاطر ومزالق حين نحاول إعادة برمجة أو إبطاء عملية الشيخوخة لدى البشر، لكنّ مثل هذه البحوث تشير إلى الطريق لإعادة برمجة الظروف المحيطة بالجينات، كأحد الأساليب في إعادة عقارب الساعة إلى الوراء لكافة الحيوانات، بما فيها البشر. أمّا بالنسبة إلى السُنوة Senolytics، فإنّ إيجاد علاج سيكون أسهل من اختراق الجينات وإعادة هندستها، لكنّ هذا الجهد قد بدأ فعلا. إنّ شركات الأدوية الكبيرة مثل GlaxoSmithKline وEli Lilly وNovartis قد قفزت جميعا إلى ميدان معالجة الظروف المحيطة بالجينات epigenetics.

وسيكون هناك المزيد.

* * *

في القرن السابع عشر، افترض العالم البريطاني الكبير روبرت بويِل أنّ «استبدال دم الفرد كبير السنّ بدم شاب» قد يساعد بشكل هام على اطالة عمر ذلك الفرد. بدت الفكرة وقتها بالنسبة لبعض الناس بأنّها فكرة جنونية. غير أنّ الجهود الحقيقية لاختبار تلك الفرضية قد جرت في منتصف القرن التاسع عشر في فرنسا. أطلق العلماء على هذه العملية اسم Parabiosis في بداية

ذلك القرن لوصف الجهود القائمة لدمج الأنظمة البايولوجية للحيوانات. جاءوا بحيوانين من نفس الفصيلة ومختلفين في العمر وفتحوا جانبيهما ثم اعادوا خياطتهما معا. جاءت هذه التسمية من كلمة Para الإغريقية وتعني «التالي» وbios ومعناها «الحياة». في خمسينات القرن الماضي، قام كلايف مكّكي، أستاذ تربية الحيوان والمتخصص بالشيخوخة في جامعة كورنَيل بخياطة فأر كبير السن مع آخر صغير السنّ معا، فوجد أنّ عظام الفأر الأكبر أصبحت اقوى ممّا كانت عليه، تلميحا إلى أنّ *بويل* كان على حقّ. غير أنّ خياطة كائنين معا Parabiosis عملية قاسية في نظر الباحثين، حتى بين العلماء الذين لا يجدون غضاضة في المعاملة القاسية الضرورية في غالبية الدراسات التي تجري على الحيوانات.

الصيغة الحديثة لهذه العملية بدأت عام 2015 حين قام فريق من الباحثين يتكون من رجل وزوجته في جامعة ستانفَرد بنشر دراسة وصفت كيف أنّ الفئران الكبيرة السنّ حين فُتح جانبها والصقت وخيطت بجانب فئران أصغر سنّا منها، بدأت جروح المجموعة الأولى تلتئم بسرعة واضحت أكبادها تعمل بشكل أفضل من الفئران التي لم تُلصَق بفأر آخر[249]. بدأت الدراسات منذ ذلك الوقت تترى واظهرت أنّه حين يُخاط الكبير إلى الصغير ليكونا تؤامين من توائم سيام Siamese الملتصقة، فإنّ الفار الكبير بدأ يظهر نشاطا يماثل نشاط الفأر الصغير، وبطرق عديدة يبدأ الصغير يتصرّف وكأنّه كبير. أظهرت قلوب الفئران الملتصقة كبيرة السنّ صحة أفضل وتكونت في أدمغتها خلايا عصبية neurons جديدة وأصبحت ذاكرتها احسن من السابق وشفت إصابات العمود الفقري لديها بسرعة وأصبحت عضلاتها اقوى وزادت كثافة الشعر على جلودها[250]. (كما لوحظ أنّها عادت إلى جحور ذويها وعلقت صور مغني الروك أند رول على الجدران!) لكنّ الدراسات العديدة الخاصة بمسألة الإلتهام الذاتي Parabiosis تقترح أنّ الفئران الأصغر سنّا بدت بطرق شتّى أكبر سنّا، وأنّ الأكبر منها بدت أكثر شبابا.

هناك نظريات عديدة حول أسباب هذه الظواهر ويدور اغلبها على أنّ الخلايا الجذعية وغيرها من العناصر في بلازما Plasma دم الفئران الشابة قد اعادت الحياة من جديد لبلازما دم الفئران الأكبر سنّا. لإثبات هذه النقطة ولإظهار أنّ الإلتهام الذاتي لا يخصّ فقط الفئران والجرذان، قام توني وَيس كورَي بحقن دم بشري مأخوذ من الحبل السريّ في فئران كبيرة السن، فلاحظ أنّ شيئًا ما في دم الحبل السريّ البشري قد حسّن من نجاح تلك الفئران في اختبارات الذاكرة.

يجري السباق الآن لمعرفة أيّ من العوامل في الدم تحفّز التغيّرات المشار إليها في أعلاه، وكيف يمكن عزل هذه العوامل لاستخدامها كعلاج للشيخوخة والأمراض المتصلة بها. اختبرت شركة AlKahest مثلا، إنْ كان مرضى ألزهايمر من كبار السنّ سيشعرون بأيّ تحسّن إذا حُقِنت بلازما دم متطابقة مأخوذة من متبرع شاب. وحين تبدأ عناصر تجدد الشباب داخل بلازما الدم تظهر نجاحا أكثر ويتمّ تحديدها وعزلها وزرعها في المختبر cultured، فلربّما سيكون من الممكن أن نرى في المستقبل القريب علاجات مضادة للشيخوخة مصممة لتحسين مختلف القدرات.

سوف لن ترى أناسا كبيري السن وقد التصق إلى جانبهم شباب يافعون، في أيّ وقت قريب، لكنّ الثقافة العامة بدأت تتقبّل الفكرة! فمثلا في البرنامج التلفزيوي الفكاهي سِلِكون فالي، نجد مدير إحدى الشركات الكبرى يدفع الكثير من المال لرجل شاب يسميه «فتى الدم» كي يوافق على نقل دمه لجسم المدير كبير السنّ. ولربّما نرى في المستقبل القريب العديد من الناس ينقلون بلازما الدم من الآخرين أو حتى خزن دمائهم لأنّهم قد يحتاجونها في فترة متأخرة من حياتهم[251].

وعلى المدى المتوسط، وباستمرار الدراسات عن المعمّرين، التي يقوم بها *نير برزِلاي* وفريقه لتحديد الجينات المعنية والأنماط الجينية التي تجعل الفرد، من الناحية الإحصائية، يعيش حياة أطول وصحيّة. كما أنّ لجوء الوالدين إلى الإخصاب المختبري واختيار الأجنة، سيمكّن من زرع أجنّة بصفات وراثية أفضل من أجل عيش حياة أطول وأكثر سعادة. وبعد ذلك بوقت قصير، سيتوفر للوالدين الخيار لتحوير الجينات في الأجنة قبل زرعها لزيادة فرص ما يريدون لأطفالهم. لربّما ستكون هناك مفاضلة تطوريّة في اتخاذ قرارات من هذا القبيل يجب الموازنة بينها. لكنّنا نعلم علم اليقين أنّ الناس، كما رأينا، يريدون لأطفالهم حياة طويلة وسعيدة لأقصى قدر ممكن.

وكلما طال عمرنا، فإنّ هناك احتمال بأنّ العديد من أعضاء أجسامنا سيصيبها العطب من شدة الاستعمال، حتى لو كانت خلايانا الجذعية باقية على نشاطها وكأنها في حالة أيام الصبا. غير أنّه تتوفر لدينا مجموعة من الأدوات لمقاومة العجز/العطب في الحقب القادمة. الروبوتات الصغيرة nanobots تستطلع في أجسامنا بحثًا عن الأشياء التي تحتاج إلى إصلاح. كما تتوفر الطباعة البايولوجية ثلاثية الأبعاد لبناء أعضاء الجسم واستخدامها لتعويض التالف منها، إضافة إلى الأدوات الوراثية لتحويل بايولوجيا الإنسان إلى ماكنة يتمّ تجديدها وتطوير قدراتها نحو أداء أفضل.

إن كلّ هذا العمل من أجل التوسع في مدى صحة الإنسان سيتسارع بشكل ملحوظ، إذا اشتركنا جميعا من كافة أرجاء المعمورة في استثمار أكبر وبشكل ذكي لفهم عملية الشيخوخة ومجابهة تاثيراتها الأكثر خُبثا. وعلى سبيل المثال، صرفت المعاهد الصحية الوطنية في الولايات المتحدة ما مقداره 183.1 مليون دولارًا من مجموع ميزانيتها العامة البالغة 32 بليون دولارًا، بما معناه ثلث 1% من ميزانيتها على قضايا الشيخوخة. وهو أقلّ بكثير جدّا ممّا صُرف من البلايين العديدة على السرطان والتهابات المفاصل والسكّري وارتفاع ضغط الدّم[252]. وحتى ضمن هذه القاعدة الصغيرة، فإنّ المعهد الوطني للشيخوخة قد صرف نصف ميزانيته على أمراض الزايهمار والسرطان والتهاب المفاصل والسكري وارتفاع ضغط الدّم. فهذه كلها تخلق ظروفا رهيبة لمن يُعانون منها ويجب معالجتها. لكنّه حتى لو تمّ القضاء بالكامل على أحدها، فإنّ ذلك لا يزيد من أمد الحياة بيننا ولو قليلا، لأنّ كافة هذه الأمراض مرتبطة جميعا بمسألة العمر. وكلما ازددنا كبرا كلما ازدادت احتمالات أصابتنا بها. وهذا هو السبب في أنّ العودة للاستثمار في صحة السكان بمجموعهم سيكون أجدى نفعا لو استثمرنا أكثر نسبيا ممّا نفعله الآن في فهم الشيخوخة ذاتها ومعالجتها، بدلا من الاهتمام بمظاهرها القاسية، كلّ على حدة.

حاول الباحث جَي *أولشانِسكي* وفريقه في جامعة إلينوي في شيكاگو حساب كمية التوفير للمجتمع بدفع معدّل العمر حين يعاني الفرد من أمراض الشيخوخة. واعتمادًا على دراسة أجريت عام 2013، فإنّ التدخّل لإبطاء عملية كِبَر السنّ ودفع مرحلة ظهور تلك الأمراض بمقدار 2.2 عامًا لمجموع سكان الولايات المتحدة سيوفر ما مقداره 7.1 ترِليون دولارًا خلال فترة 55 عامًا[253]. بعبارة أخرى، لو ثبت أنّ زيادة معدل صحة الفرد ممكنة، كما يبدو الآن، فإنّ التوفير المتوقع سوف يكون أكثر ممّا دُفِع لمشروع مانهاتِن، لاستهداف الشيخوخة فقط. لكنّه سيغطي كلفة إصلاح البُنية التحتية المتهاوية في الولايات المتحدة وسيوفر التعليم لمرحلة ما قبل الدراسة الإبتدائية لكلّ طفل في هذا البلد، وسيوفر ماء الشرب النظيف لكلّ شخص على وجه الأرض[254].

ليست إطالة أمد الحياة لأعداد كبيرة من الناس مسألة سهلة، وستكون هناك عقبات لا يمكن لنا أن نراها الآن. أكبر شخص معمّر عاش حتى سنّ 122عامًا. لكننا لا نعرف بالضبط إن كان يوجد صنف من الأمراض القاتلة، التي لم تسمع بها البشرية لوعاش ذلك الفرد 123 عامًا. ولكن حين يصبح علم البايولوجيا أكثر طواعية، فإنّ توقعات التوسع في مدى الحياة والصحة، التي رأيناها خلال القرن الماضي تبدو واقعية في القرن الحالي. إذا استطعنا أن نحقق نفس الطفرة البالغة 40

عامًا على المستوى العالمي لعمر الفرد من 30 عامًا في سنة 1900 إلى 70 عامًا في سنة 2000، سوف لن يكون مستحيلًا، لأنّ نمو الرفاهية العالمية قد خفّض بشكل ملحوظ معدلات وفيات الأطفال وارقام عام 1900. إنّ المضي في هذا الطريق ليس أمر مستعصيا.

إذن الخطوة الأولى هي تخفيض مستوى الوفيات عند الأطفال وزيادة مدى الحياة في المناطق الفقيرة حول العالم، خاصة في مناطق ما دون الصحراء الأفريقية وفي جنوب آسيا. وحتى لو تحقق ذلك فإنّ الكثير منّا ينشدون حياة أطول بأفضل صحة.

ازداد معدل حياة الفرد في الولايات المتحدة خلال القرن الماضي بمعدل 3 أشهر في السنة. ومع كلّ هذا النمو والتطور التكنولوجي، الذي أتيتُ عليه، فمن الممكن زيادة هذا المعدل إلى 4 أشهر في السنة ثمّ 5 أشهر ثمّ 6 أشهر في السنة. إذا استطعنا أن نجعل متوسط العمر يزداد باضطراد فإنّ ذلك قد يكون أسرع من عمر البشر، وسنصل إلى ما سمّاه رَي كورزوَل «متوسط العمر الذي يتجاوز السرعة»، ونحقق بذلك الخلود. يصلح هذا أن يكون نظرية عظيمة، لكنّني أشكّ بجديّة أنّنا سنصل إلى مثل هذا الواقع في المرحلة الحالية بأجسامنا المحدّدة. يركّز هذا الكتاب على اختراق جيناتنا، وهو أمر ممكِن بالتأكيد. وحتى لو تمكّنا من ذلك، فإنّي أشكّ بأنّه سيكون لدينا المجال، قدر تعلق الأمر ببايولوجيا الإنسان، أن نجعل هذه البايولوجيا خالدة.

لكنّه ربّما ستصبح هذه البايولوجيا عاملا أقلّ تقييدا لو ادمجنا طرق جديدة في ماكنتنا البشرية، وهو أمر لا يصعب تخيله، لأنّنا في يوم ما سنكون قادرين على ترقيم digitize وظائف الدماغ وتفكيكها disembody. إذا رأينا أنفسنا كشفرة code، فإنّ من الممكن لهذه الشفرة أن تُنقلَ إلى هيئة أخرى، ربّما إلى جسم روبوت أو إلى شكل مفكّك شبه واع. قد يكون هذا الشكل المفكك للدماغ هو نحن، ولكن على الأقل سيكون له قدر من الخلود المحدود. قد يبدو الأمر غير جذاب في رأي البعض، لكنّه موضع اهتمام العديد من الذين اكلتهم الديدان أو تناثرت جثثهم وغطتها الثلوج فوق جبال الهملايا!

سيثبت الخلود بشكلنا البايولوجي الحالي أنّه أمر مستحيل. ولكن كما أدرك *كِلكَامِش* في نهاية اسطورته بحثا عن الخلود، أنّه ربّما سيكون البديل هو خلودنا كمجتمع. يأتي هذا من بذل كلّ منّا ما يستطيعه لمصلحة مجتمعه. ربّما أنّ أفضل استثمار يمكننا أن نقدم عليه من أجل خلودنا أن يكون لنا أبناء متميّزون أو نؤلف كتبا أو نساعد على إنقاذ البيئة أو نقدم خدمات إيجابية لمجتمعنا وثقافتنا. لو

أخذنا كلّ ما هو ممكن، فلماذا لا نعمل كلّ ما في وسعنا لنطيل أمد حياتنا ونعيش حياة صحية، بالقدر الذي تسمح لنا به البايولوجيا والتكنولوجيا؟

إنّنا نعيش في حالة تغيّر فهمنا للبايولوجيا باعتبارها شيئًا ثابتا وقدرا لا مناص منه، إلى كونها شيئًا يمكن قراءته وكتابه واختراقه. وكأيّ شيء في معلوماتنا التكنولوجية، يجب علينا أن نتوقف عن الهوس وترشيد الموت لإعطاء معنى للحياة أو ترديد التصوفات الروحية والخرافات، حتى تدرك قوانا الأخلاقية ذلك بشكل متزايد.

سيشكّل علم الجينات والتكنولوجيا الحيوية والثورة في ميدان إطالة العمر، تحديا لمفاهيمنا الحالية عمّا يعني أن نكون بشرًا. وإنّنا كبشر ورغم كافة نقاط ضعفنا وخرافاتنا وعقلنا البدائي وغرائزنا المتوحشة وانظمتنا الاجتماعية، التي شُحِذت على مدى ملايين السنين وكذلك قدراتنا البايولوجية المحددة وكيف اندمجت مع التكنولوجيا، التي لا حدود لها، سنحتاج أن نتلمّس طريقنا وسط التحديات الأخلاقية، التي تتربّص بنا عند المنعطف التالي للطريق الذي نقف فيه الآن.

الفصل الثامن

أخلاقيات هندسة أنفسنا

يعطينا تاريخنا بعض الأمثلة الرائعة لاستعمال البشرية للتكنولوجيا بهدف معالجة أمراضنا وتحسين قدراتنا واستكشاف الكون من حولنا والحفاظ على كوكبنا. كما يتوفر لدينا أيضًا العديد من الأمثلة لاستخدام هذه التكنولوجيا لقتل الآخرين واستعبادهم واستغلالهم وخلق الخلافات بينهم وتدمير ما يحيط بهم. إنّ أدواتنا حقيقة لا تفرّق بين الصالح والطالح، والعامل الذي يتحكّم بها هو القيم، التي نؤمن بها كأفراد وبشكل جماعي، حين تحين لحظة استعمال أدوات القتل والتدمير. ينطبق نفس الشيء على القوة التي لا تصدّق لأدوات الثورة الجينية. كيف نفهم هذه الأدوات وكيف نستخدمها، سيقرران بشكل هام مستقبلنا كبشر. إنّ إجابة كلّ منا إنفرادا أو كجماعة عن السؤال المركزي حول الثورة الجينية، سيضيف إلى مسار مستقبل البشرية ومستقبل الكائنات الأخرى معها.

ليست هناك إجابات سهلة للأسئلة الحرجة حول تعقيد ومسؤولية واختلاف وكلفة الثورة الجينية، وما سنريده منها. غير أنّ الفهم الأفضل للقضايا الأخلاقية هو الخطوة الحاسمة الأولى.

إنّنا كبشر مكوّن كلّ منّا من أنظمة بايولوجية بالغة التعقيد تتفاعل بشكل مستديم مع الأنظمة البيئية الأشدّ تعقيدًا من حولنا. أضف إلى ذلك، إنّ كلّ واحد من جيناتنا يؤدي وظائف متعددة ويتفاعل مع الجينات الأخرى، التي تقوم بعمل شيء في إطار معيّن. ولكن في الغالب هناك إمكانية حقيقية أنّ ذات الجين يقدّم لنا المساعدة في مجال آخر.

لقد رأينا أنّ الأشخاص الذين يرثون نسخة من طفرة الخلايا المنجلية من كلي الوالدين، يعانون بشكل رهيب من هذا المرض. لكنّ أولئك الذين يرثون نسخة هذا المرض من أحد الوالدين

فقط، لا يظهرون أعراضه وفي الغالب تكون لديهم مناعة طبيعية قوية للغاية ضدّ الملاريا. القضاء على مرض الخلايا المنجلية تماما سيزيد من احتمالات الإصابة بالملاريا. ربّما يكون من الممكن حلّ هذا الإشكال بصنع أدوية أكثر فعالية ضدّ الملاريا، أو أن نستخدم جينا خاصّا لإهلاك القسم الأعظم من البعوض الناقل للملاريا[255]. ولكن إذا قضينا على معظم البعوض باستخدام هذا الجين، فإنّنا سنواجه مشكلة أخرى تتعلق بتدمير النظام البيئي، الذي تعيش فيه هذا الحشرات، وقد يلحق بنا ضرر جرّاء ذلك.

إنّ كافة هذه الخطوات تحلّ مشكلة معينة، ولكن كما أثبتت التجارب، أنّ الأمر قد يخلق مشاكل جديدة تتطلب تدخلا أكبر ويستمر الحال على هذا المنوال. إنّها شيء يشبه اغنية پيتر وپول ومَيري، التي كنّا نرددها في معسكراتنا الصيفية.

أعرف عجوزا بلعت بقرة

لا أدري كيف بلعتها

بلعت البقرة كي تمسك معزة

وبلعت المعزة كي تمسك كلبا

وبلعت الكلب كي تمسك قطة

وبلعت القطة كي تمسك طيرا

وبلعت طيرا كي تمسك العنكبوت

الذي تلوّى في احشائها واهتز ودغدغها

لقد بلعت العنكبوت لتمسك ذبابة

لكنّي لا أعرف لماذا بلعت تلك الذبابة

ربّما ستموت بسبب ذلك[256].

يجادل بعض المهتمين بقضايا الأخلاق بأنّه نظرا لمحدودية معرفتنا بكيفية عملنا بالنسبة إلى تعقيد موضوع بايولوجيتنا، أليس من الأفضل ألّا نحاول أن نلعب الدّور الذي نعتقد أنّه مناط بالرّبّ؟ كتب *ليون كاس* المحافظ المختص بقضايا الأخلاق والبايولوجيا bioethics في رسالة وجّهها للرئيس جورج *بُش*، الذي عينه في مفوضية الأخلاق المتعلقة بقضايا البايولوجيا.

> *إنّ كرامة الإنسان متأصلة بكرامة الحياة، وتزدهر فقط في كبرياء الفرد وتكمل ذاتها وتقف شامخة حين نحني رؤوسنا ونرفع قلوبنا اعترافًا منّا بوجود قوّة أكبر منّا. إنّ أقصى الكرامة لإدراك صورة الإله في مخلوقاته، هو الاعتراف والاحتفال بكلّ ما هو إلهي مقدّس*[257].

كما أطلق *مايكل ساندِل*، أستاذ الفلسفة في جامعة هارفرد، إشارة مماثلة في مقالة نشرها في مجلة أتلانتِك ثمّ ضمّنها في كتاب ظهر بعدها بعنوان القضية ضدّ ما هو كامل. كتب يقول، «الاعتقاد أنّ مواهبنا وقوانا هي من صنعنا كاملة، يعني عدم فهم مكاننا في عملية الخلق، والتباس في دورنا إزاء دور الرّبّ»[258].

ليس هذا موقفًا فلسفيًا. لقد رأينا كيف أنّ الجنين في مراحله الأولى يمكن أن يكون فسيفساء من أنماط مختلفة من الخلايا تجعل من الصعب التمييز بينها، وفيما إذا كانت تحتوي على طفرة ضارة متوقعة ستخلق مشكلة حقيقية في مستقبل الطفل أم لا. لقد رأينا أنّ ما يبدو أنّه طفرة جينية منفردة لا تسبب دائمًا المرض الذي تفضي إليه. وعلى هذا المستوى من المخاطرة، لماذا لا نأخذ طريق الأمان ونثق بالطبيعة ونظامنا البايولوجي، رغم كلّ نواقصه، وفي بعض الأحيان طفراته الخطيرة، التي تطورت خلال بلايين السنين؟

السبب هو لأنّنا بشر.

في اللحظة التي بدأ فيها أجدادنا صنع الأدوات، بدأ التحدي للظروف التي عاشوا فيه. وفي اللحظة التي بدأنا فيها زراعة البذور وإعداد الحقول واختراع الأدوية لمقاومة الأمراض الطبيعية الفتاكة، التي تصيبنا، بدأنا نتمرّد على الطبيعة. برغم أنّه توجد لدينا أسباب جيدة لعدم قطع أشجار الغابات وتسميم مياه المحيطات وتلويث الهواء الذي نتنفسه، وقتل الكائنات الأخرى، التي تشترك معنا على سطح هذا الكوكب، تبيّن أنّ تاريخنا مع الطبيعة موسوم بأنّه تاريخ حرب. تآمرت الطبيعة

على قتلنا من خلال تقلبات المناخ الخطيرة والحيوانات المفترسة والمجاعات والأمراض. وقد حاربنا ذلك بكل ما توفر لدينا من السبُل. لم نَعِش في حالة انسجام مع الطبيعة، لكنّنا وازنّا بين احترامنا لها وخوفنا منها وحربنا معها.

نتفق جميعا أنّ النمل جزء من الطبيعة وكذلك «التلال» الصغيرة التي يعيش فيها. وينطبق نفس الشيء على الطيور واعشاشها. الإنسان أيضا جزء من الطبيعة. ماذا يمكن أن يكون؟ إذا كان الأمر كذلك، أليست أسواقنا التجارية الكبيرة وقنابلنا الذرية وأجهزة كرِسپر لفحص الجينات وتعديلها أجزاء من الطبيعة أيضا؟

لا نحتاج أن نقوم «بدور الرّبَ» لو وجدنا أنّ العالم الذي نسكنه أقلّ عدائية. لقد وصف داروين الطبيعة بأنّها، «خرقاء مُسرفة ووضيعة وقاسية بشكل لئيم وملأى بالأخطاء الفادحة»[259]. لو كان الرّبّ موجودًا ولا يتدخّل في ذلك، فمن العدل أن نسأل، لماذا لا يقوم الرّبّ بدوره؟ إذا كان العالم قد خُلق على صورته، وهو كما هو، لماذا إذن نحارب أمراضًا كالسرطان وغيره من الأمراض إطلاقًا؟ وإذا لم يكن الأمر كذلك، لماذا نضع حدودًا على ما نستطيع عمله لكي نجعل هذا العالم أفضل وآمن مكان لنا؟ إذا كان الربّ، وأنا هنا أوجّه كلامي للمؤمنين بهذه الفكرة، لماذا ما تركنا نستمر العيش في الكهوف ونقع ضحية للأمراض والمجاعات والحيوانات المفترسة وتقلبات المناخ؟ هل أنّ كلّ شيء بدأ من الأدوات الحجرية والنار وتعديل الجينوم البشري هي أجزاء من مهمّتنا لإكمال ما لم يكمله الرّب؟ ولكن من جهة أخرى، إذا كان هذا الرّبّ غير معنيّ بنا، أليس مفروضا أن نعمل ما في وسعنا للدفاع عن كافة أنواع الكائنات بمختلف أنماطها وحماية النظام البيئي المحيط بنا؟

تقود هذه التساؤلات إلى الاستنتاج المنطقي بأنّنا يجب ألّا نقوم اطلاقا «بدور الرّبّ»، لكنّنا يجب أن نفعل الضروري بشكل متعقل ومتوازن مع ما يحيط بنا. لكنّه لن يكون بمقدورنا أن نفهم الجينوم فهما كاملا، كما لم يكن عندنا معرفة بالنار قبل أن نبدأ بالسيطرة عليها والسرطان قبل أن نبدأ بمعالجته وكذلك المحاصيل الزراعية قبل أن نبدأ استخدامها كغذاء. وفي كلّ حالة من هذه الحالات، وازنّا بين الكلفة والمنافع ثمّ مضينا قدُما بمعلومات غير متكاملة، ولكن برغبة للمعرفة والتعلم. وهذا هو ما حصل في مسألة التكنولوجيا الوراثية.

كلما اتسعت الخطوة، التي فكّرنا في اتخاذها لدفع الثورة التكنولوجية، كلما ازدادت الكلفة المتوقعة، وعلينا موازنة ذلك. الاستمرار في إجراء البحوث مسألة واضحة يجب الإقدام عليها. كما أنّ جعل الجينات غير الوراثية تتغير عند البشر لمحاربة الأمراض هو أيضا مسألة مقبولة بشكل عام. إنّ قضية مسح جينات الأجنّة ستكون خطوات كبيرة وتطرح مناقشات أكثر وتتطلب فحصا أدقّ. غير أنّه سيكون الأمر حماقة إن اقترحنا أنّ أجناس الكائنات يجب أن تنتظر حتى اكتمال المعرفة لكي نتقدّم إلى الأمام. يجب أنّ نفعل ما بوسعنا ولا نتقبل التوقف. حين كنا أشباه بشر ثمّ نزلنا من على اغصان الأشجار، قهرنا العالم. إنّنا طافحون بالتفاؤل والغطرسة، وهذان مبنيان في صُلب نظام تشغيلنا.

يحذّر المعارضون لأيّة تحويرات/تعديلات في الجينات من خطر «الإنحدار الزّلِق»، حيث تقود أيّة خطوة إلى خطوة أخرى دون التأمل إنْ كانت أيّ منهما خطأ[260]. إنّ كلّ خطوة صغيرة يخطوها العلماء والأطباء والحكومات في اتجاه هندسة الجينات البشرية ستبرر الخطوة الصغيرة التالية. إذا كان لا بأس من أخذ مِتوكوندريا Mitochondria (إنزيمات الخلايا التي تحوّل الغذاء إلى طاقة) من امرأة متبرعة لمساعدة زوجين في حماية طفلهما من أن يولد وهو يعاني من مرض في هذه المِتوكوندريا، فلماذا لا يجري تعديل الجينات الوراثية بقصد حماية الطفل من هذ المرض البشع؟ إذا كان مسموحا باختيار الجنين الذي سوف لن تدركه المنية مبكرا بسبب مرض الهِنتِنگتُن، أو لماذا يجب عدم التعرّض إلى نسخ من جين APOE4، الذي يزيد بشكل كبير من احتمالات الإصابة بمرض الزايهامر بشكل مبكّر، لماذا لا نختار للجنين أن يعيش حياة أطول وصحيّة في ذات الوقت؟ إذا كان باستطاعتنا أن نمزج ونزاوج المواد الوراثية لنخلق خنازير بقلوب بشرية تُنقل للمرضى منهم، لماذا لا نمزج ونزاوج جينات من مختلف الأشخاص للتأكّد من أنّ أطفال المستقبل ستكون لديهم قلوب قوية، أو غيرها من الأعضاء والقدرات التي باستطاعتنا توفيرها لهم؟

أورد *سِدهارثا مُخرجي* قولا جميلا حين ذكر، «إنّ الأمراض الوراثية والعافية الوراثية ليست مناطق متجاورة، بل هما مملكتان متواصلتان تربط ما بينهما حدود رقيقة شفافة في الغالب»[261]. ليس هناك زلّة في التوجه نحو المنحدرات الزلقة، ما دام الفرد حذرًا ومدركًا للاتجاه الذي سينزلق إليه.

القرارات حول الإقدام على اختيار الجينات وتعديل الأجنة قبل زرعها، يتخذها الأفراد البالغون الكبار، لكنّ آثار ذلك ستكون على الأطفال. يطرح المحافظون بصدد الجينات، وبعضهم سياسيون لِبراليون، القضية بأنّ اتخاذ الكبار لمثل هذه القرارات حول الجينات الخاصة بأطفال المستقبل، هي أنّ هؤلاء يعطون لأنفسهم الوكالة للتحدّث نيابة عن الأطفال. إذن، ما هي سيطرة هؤلاء الأطفال على تغذية الأمّهات قبل الولادة ومستويات التوتر لديهنّ أثناء فترة الحمل، أو كما العديد من صبيان وصبيّات كوريا الجنوبية حين يُحشرون داخل المدارس المزدحمة في وقت مبكّر لزيادة فرص قبولهم في أفضل الجامعات وبالتالي تحقيق النجاح المطلوب؟ في الوقت الذي يناقش فيه هؤلاء اللِبراليون المحافظون مسألة الإلتزام الأخلاقي في عدم تغيير/تحوير أطفال المستقبل، لأنّه ليس لهم دور في تلك القرارات، فبطبيعة الحال، يوجد من يختلف مع اصحاب هذا الرأي.

المثال على ذلك هو *جولَيَن سافولِسكو* المتخصص في المسألة الأخلاقية في علم الوراثة في جامعة أكسفُرد. ذكر، «إنّه واجب أخلاقي منوط بالوالدين أن يجلبا لهذا العالم أطفالا لديهم أفضل فرصة لأفضل حياة». ثم مضى للقول، «إنّ الوالدين اللذين يقرّرا أن ينجبا طفلًا، لديهما سبب أخلاقي هام بأن يختارا، اعتمادًا على الموروث الجيني، ما يوفّر للطفل أن يتمتع بأحسن عافية»[262]. توصّل زميل له في نفس الجامعة واسمه *نِك بوسترُم*، إلى نفس الاستنتاج واقترح استخدام ما سمّي «الاختبار العكسي» حين نحاول معرفة إن كان هناك مبرّر أخلاقي لإحداث تغيير/تعديل جيني لإنسان المستقبل[263].

تنحصر مناقشة *بوسترُم* في أنّه إذا كان بعض الناس يرى أنّ إحداث تغيير باتجاه معيّن خطأ، ومثال على ذلك هندسة الفرد جينيّا لإزالة كافة الأمراض الوراثية، فيجب على هذا البعض أن يخبرونا رايهم إذا فعلناعكس ذلك وعدّلنا الجينات لنضيف أمراضا وراثية. سيقولون إنّ ذلك غير مقبول أخلاقيًا! المشكلة هي أنّ ذلك هو ما يفعلونه. نظرا لأنّه ليس باستطاعة أيّ شخص أن يناقش منطقيًّا أنّ هندسة الجينات تسمح بإضافة أمراض أخرى، إذن يفضّل هذا البناء المنطقي تعزيز قدرات الإنسان وليس العكس.

تعرّضت مناقشات *سافولِسكو* و*بوسترُم* للهجوم باعتبارها بغيضة أخلاقيًا في نظر خصومهما لأنّهم اعتقدوا أنها تفضَل حياة شخص على حياة شخص آخر، وتقلل من قيمة الناس ذوي العاهات، وتشجّع عدم فهم ما معنى «الحياة الجيدة» وتخلط ما بين العلاجات الوراثية والتحسينات، التي تجعل

أطفال المستقبل سلعة. في كتابه المعنون لها ضحكة أمّها حذّر الصحفي المهتم بالشؤون العلمية *كارل زِمَر* ضدّ ما دعاه «الأصولية الجينيّة» Genetic Essentialism، التي تقصر تعقيد البشر والبشرية على العوامل الوراثية فقط[264]. رفعت كافة هذه الانتقادات شبح اليوجِنيكا (علم تحسين النسل) Eugenics.

إنّ إدّعاء اليوجِنيكا ليس ادعاء زائفا فقط. إنّه ينشر خيمة سوداء على كافة احتمالات هندسة الجينات البشرية.

* * *

يخلط مفهوم اليوجِنيكا ما بين جذوره الإغريقية التي تعني «جيّد» و«ميلاد». جدير بالذكر أنّ هذا المفهوم ظهر في القرن التاسع عشر وتعلق بالاختيار الانتقائي للتزواج بين الجماعات والأجناس البشرية. كما أنّ له جذوره التاريخية، فقد كُتِب الوأد Infanticide في القوانين الرومانية وتمّ تطبيقه في مرحلة امبراطورية روما. ورد في تلك القوانين أنّه، «يتوجّب على الأب أن يضع مباشرة نهاية لحياة ابنه، الذي يولد مِسخا أو له شكل يختلف عن شكل الجنس البشري[265]. جاء ذلك في المادة 4 من مواد القانون الروماني البالغ عددها 12 مادة. وفي إسبارطة القديمة، كان كبار السنّ في المدينة يتفحصون المواليد الجدد للتأكّد مِن أنّ مَن يبدو ضعيفا منهم لا يُسمَح له بالعيش. لقد مارست القبائل الألمانية والعربية، قبل الإسلام، والقبائل اليابانية والصينية والهندية عادة وأد الأطفال، بشكل أو بآخر.

لم يدفع طبع كتاب *داروين* **أصل الأنواع** العلماء إلى التفكير بشأن تطور العصافير في جزيرة گالِپاكُس فقط، بل أيضًا كيف تطوّرت المجموعات البشرية بشكل عام. إنّ تطبيق مبادئ نظرية *داروين*، حول الانتقاء الطبيعي على السلالات البشرية، دفع إبن عمّه السّير *فرانسِس گالتُن* بطرح نظرية فحواها إنّ تطوّر السلالات البشرية ما كان سيحدث، لو لم يتمّ فرز الأعضاء الأضعف ومنعهم من المشاركة في عملية الانتقاء. لخّص في كتابه الأوّل المواهب الموروثة والشخصية (1885) وكتاب العبقرية الوراثية (1889)، كيف أنّ اليوجِنيكا يجب أن تطبّق بتشجيع أقدر الأفراد على أن يتزاوجوا فيما بينهم، ومنع غير القادرين منهم، من الذين يحملون صفات غير ملائمة، من إنجاب الأطفال وتوريث جيناتهم. تمّ قبول هذه الفرضيات من قِبَل الأوساط العلمية المعروفة

والجماعات المتنفذة ذات الشان والأفراد اليوجينكيين في اوقاتهم، مثل *الگزندر گرام بَل* وجون *مايَنَرد كيْنْز* *ووِدرو وِلسُن* *ووِنستُن چَرچِل*.

بالرغم من أنّ أعماله قد طغت عليه جزئيا روح عصر *الملكة فِكتوريا* في إنگلترا، كان *گالتُن* أكثر ممّا هو عليه الآن ممّن يُطلق عليهم لقب «عنصري». كتبَ أنّ علم تحسين نسل الحيوان يتطلب إدراك كافة التأثيرات، مهما كانت درجة بعدها، من أجل الحصول على سلالات دم تتهيأ لها الفرصة أن تسيطر بسرعة على العناصر الأقلّ استعدادًا[266]. في عام 1909 أسس *گالتُن* وعدد من زملائه **مجلة اليوجِنيكا**، وناقش في أعدادها الأولى أنّ الشعوب يجب أن تتنافس مع بعضها البعض في «سباق لتحسن السلالات» و«أنّ الأجنّة في المستشفيات والمصحّات العقلية يجب أن يُقلّص عددها إلى اقصى قدر ممكن من خلال عمليات الإعقام والتربية الانتقائية»[267].

حصلت نظريات *گالتُن* على دفع جديد للسيطرة عالميًّا، خاصّة في العالم الجديد. بالرغم من أنّ اليوجِنيكا أصبحت ذات دلالة شريرة، فإنّ اغلب المؤمنين الأوائل بها كانوا أمريكيين تقدميين آمنوا بالعلوم وإمكانية قيادة السياسات الاجتماعية لخلق مجتمعات أفضل لكافة المواطنين. «إنّ باستطاعتنا أن نشكّل التطوّر بذكاء ونقوده، في المجتمع الذي نشارك فيه»، حسب ما كتب عالم الدين *والتر روشِنبوخ*. كما ذكر أستاذ الاقتصاد بجامعة جونز هوپكِنز رِچَرد *ألي*، بأنّ «الربّ يُملي إرادته من خلال الدولة». إعتنق العديد من الأمريكيين التقدميين اليوجِنيكا باعتبارها أسلوبا لتحسين حالة المجتمع عن طريق منع أولئك الذين يمكن اعتبارهم «غير لائقين» و«لديهم عيوب» منذ لحظة ولادتهم. «نعرف ما فيه الكفاية عن اليوجِنيكا إلى القدر الذي نطبّق فيه هذه المعرفة، فإنّ الطبقات المعابة ستختفي خلال حقبة واحدة من الزمن»، حسب الرأي الذي أدلى به چ*الز فان هايز*، رئيس جامعة وِسكونسُن. أصبح «علم» تحسين النسل متشابكا مع الأفكار البغيضة حول الشعوب والعنصرية. في المؤتمر الثاني لأنصار اليوجِنيكا الذي عُقِد في عام 1923 في نو يورك، ناقش هَنري *أوزبورن*، مدير متحف التاريخ الطبيعي في المدينة، الأمر فقال:

> *تأكّد من خلال الملاحظات والتجارب ما يستطيع كلّ جنس أن يفعله اعتمادًا على مؤهلات أفراده... إذا فشل الزنوج في المناصب الحكومية، ربّما سيكونون ناجحين في الزراعة أو الأعمال الميكانيكية... ومن حقّ الدولة أن تحمي شخصية وكرامة الجنس أو الأجناس، التي يعتمد عليها المستقبل. وفي*

رأيي أنّ من حقّ الحكومة، الذي لا جدال فيه، أن تحافظ على صحة وأخلاقيات مواطنيها. ونظرًا لأنّ العلوم قد نوّرت أفكار الحكومة في سبل منع الأمراض وانتشارها، فيجب أن تتنوّر لمنع انتشار وتكاثر أفراد المجتمع، الذين لا قيمة لهم، ومنع انتشار الحماقة والغباء وتقضي عليهما، كما تقضي على الأمراض[268].

شرعت معاهد البحوث الكبيرة مثل **كولد سپرِنگ هاربَر** وبتمويل من مؤسسة روكفِلر ومعهد كارنَگي في واشنطن ومؤسسة كلوگ لتحسين الجنس، بتوفير المبررات العلمية لحركة اليوجِنيكا التقدّمية، كي تصبح أكثر شعبية في الوقت الذي طغت فيه على البلد موجة من الحتمية الجينية genetic determinism. وضعت **الرابطة الأمريكية لتحسين العلوم** كافة ثقلها لمناصرة حركة اليوجِنيكا من خلال سلسلة مطبوعاتها تحت عنوان العلم[269]. لو كان *مُندَل* قد حضر إلى مقر الرابطة وذكّر بوجود جينات للسمات المحددة، لكانوا قالوا له إنّ القضية قضية وقت قبل أن تملي الجينات كلّ صفة هامّة لدى الإنسان. إنّ أفكارا من هذا القبيل تحرّكت بسرعة وأضحت أيضا بسرعة سياسات للبلد.

كانت ولاية إنديانا في عام 1907 أوّل ولاية أمريكية تقرّ قانونا يخصّ مسألة اليوجِنيكا، بحيث جعلت الإعقام إلزاميا لبعض نماذج الناس في سجون الولاية. تبع ذلك صدور قوانين مماثلة في 30 ولاية مختلفة إضافة إلى منطقة پورتوريكو، وشملت العمليات ما يقارب من 60 ألف مواطنا، أكثرهم من مرضى المصحات العقلية وبعض المجرمين، حيث اجريت لهم عمليات الإعقام بدون أيّة موافقة. كما طُبّقت تلك الإجراءات على النسوة في پورتوريكو فخضعت حوالى ثلث النسوة في الجزيرة لعمليات الإعقام اعتمادًا على موافقات شكلية[270]. كانت تلك القوانين موضع خلاف وسجّل عدد من المواطنين شكواهم ضدّها في المحاكم. لكنّ المحكمة العليا الأمريكية في قرارها المعيب في قضية **بَك ضدَّ بِل** قرّرت أنّ قوانين اليوجِنيكا لا تخالف الدستور. وهذا هو ما دفع عضو المحكمة العليا التقدمي *أوليفَر وَندِل هولمز* أن يكتب معترضا، «إنّ ثلاثة أجيال من البلهاء فيه ما فيه من الكفاية»[271].

في الوقت الذي كانت فيه حركة اليوجِنيكا تلعب دورها في الولايات المتحدة، كانت هناك في اوروپا حركة تراقب الموقف عن كثب، وهي النازية. النازية، من عدة أوجه هي الوريث القبيح المشوّه للداروينية. تلقى العلماء والأطباء بحماس نظريات اليوجِنيكا، التي عبّر عنها *گالتُن* منذ

البداية. تأسست عام 1905 **جمعية التظيف العرقي** في برلين وهدفها المعلن هو «تنقية الأصل النوردي» من خلال الإعقام والتناسل الانتقائي selective breeding. وبسرعة تمّ تأسيس **معهد البايولوجيا الوراثية والنقاء العرقي** في مدينة فرانكفُرت بإدارة أشهر معتنقي اليوجِنيكا، الأستاذ *أوتمار فريهر فون فرشوَر*.

كانت نظريات اليوجِنيكا وجهود الولايات المتحدة لغرسها من خلال نشاطات الولايات، حاضرة في ذهن *أدولف هِتلر*، حين كتب سيرته المشؤومة عام 1925، كفاحي وهو في سجن لاندزبَرگ. «القويّ يجب أن يسود، وعليه ألّا يتزوج من نسل الضعفاء». كتب يقول:

> *سينظر الذي وُلد ضعيفًا إلى هذا المبدأ فيراه قاسيًا. وإذا فعل ذلك فإنّه نتيجة ضعف طبيعته وضيق تفكيره، لأنّه إذا لم يوجد قانون يوجّه عملية التطور فإنّ الدرجة العليا من الحياة العضوية لا يمكن أن تكون ممكنة الوجود إطلاقًا... نظرًا لأنّ أعداد الوضيعين تزيد دائمًا على أعداد النخبة المتفوقين، فإنّ المجموعة الأولى تتكاثر بسرعة لو توفرت لها القدرة على البقاء وإنجاب من هم على شاكلتها. وتكون النتيجة أنّ من يملكون المؤهلات والصفات الجيدة سيُدفع بهم إلى الخلف. ولذلك يجب اتخاذ الإجراءات التصحيحية والتدخُل من أجل الحصول على المؤهلات والصفات الجيدة... وهنا يجب أن تبدأ عملية الانتقاء الصارم، بناء على القوة والصحة الجيدة*[272].

في طليعة القوانين، التي أقرّها النازيون بعد أن استلموا السلطة عام 1933 إصدار قانون لمنع إنجاب الأطفال بعاهات وراثية معتمدين إلى حدّ ما على قانون الإعقام في ولاية كاليفورنيا. أسّست محاكم للنظر في الصحة الوراثية في كافة أرجاء ألمانيا النازية، حيث ينظر طبيبان ومحام في اتخاذ القرار على تطبيق الإعقام بحقّ الرجال والنساء لحرمانهم من الإنجاب. وخلال الأربع سنوات التالية أجريت هذه العمليات على ما يقرب من 400 ألف مواطنا من الألمان. غير أنّ إخضاع هؤلاء لتلك العمليات لم يعد كافيا في نظر النازيين المؤمنين بأحلام اليوجِنيكا ونقاوة الأنسال. شرعوا في عام 1939 بعمليات سرية لقتل الأطفال المولودين حديثا وكلّ من هم دون سنّ 3 سنوات من ذوي العاهات. ثمّ توسّع الإجراء ليشمل الأطفال الأكبر سنّا وحتى البالغين من ذوي العاهات، لأنّهم يعيشون حياة لا يستحقونها.

من الواضح أنّ أصل هذه المفاهيم هو ما قامت عليه تصرفات النازيين اعتمادًا على العلماء والأطباء المؤمنين بشرعية نظرية اليوجِنيكا. أشرف الأطباء على إعدام مجموعات واسعة من غير المرغوب فيهم في محارق الغاز في أرجاء البلاد. توسّعت ممارسة القتل الرحيم euthanizing للمعوقين ونزلاء المصحّات العقلية ومن ثمّ المجرمين وأولئك الذين يُعتبرون في الدرك الأسفل من السلالات البشرية مثل اليهود والغجر ومثليّ الجنس. وعليه ليس من الصدفة أنّ جوزَف *مَنگلا*، الطبيب الذي قرّر مصير من يذهب إلى افران الغاز في أوشوِتز، كان طالبا ألمعيّا من طلبة *فون فرشوَر* في معهد فرانكفُرت لدراسة البايولوجيا الوراثية والنقاء العرقي.

في منتصف الثلاثينات، بدأ أعضاء الجمعيات العلمية الأمريكية ينسحبون تدريجيا من ميدان نظرية اليوجِنيكا. توصّل **معهد كارنَگي** مثلا في عام 1935 إلى أنّ العلم الذي تقوم عليه هذه النظرية ليس سليما، وقرّر المعهد إيقاف تمويل دائرة سجلات اليوجِنيكا في **معهد كولد سپرِنگ هاربر**. تمّ فضح ممارسات النازية الوحشية خلال محاكم نورُنبَرگ بين عامي 1945- 1946، والتي وضعت المسمار الأخير في نعش اليوجِنيكا في العالم الغربي. بالرغم من أنّ القوانين التي أضفت عليها صفة الشرّعية، قد ألغيت في الولايات المتحدة في الستينات وفي كندا والسويد في السبعينات، فإنّ عددا قليلا من الناس قد خضعوا فعلا لعمليات الإعقام والحرمان من الإنجاب بعد نهاية الحرب.

ولكن مع ظهور التكنولوجيا الحديثة، التي بدأت بثورة في عمليات الإنجاب وخلقت أدوات جديدة لتفحص واختبار وهندسة الجينات في الأجنة قبل زرعها، بدأ البعض يذكّر بمسألة اليوجِنيكا. في خطابه التاريخي أمام خريجي الكلية الأمريكية لطب علم الوراثة، ومن ثمّ في مقال نُشِر بعده، طرح طبيب الأطفال والأستاذ في جامعة كاليفورنيا فرع سُن فرانسسكو، چالز *إپشتين* سؤالا استفزازيا، «هل أنّ علم الجينات الحديث يوجِنيكا بثوب جديد؟» قال ردّا على سؤاله، إنّه ربّما سيكون كذلك، إذا لم يكن المجتمع العلمي واعيًا وحذرًا[273].

أثار أستاذ جامعة هارفرد *مايكِل ساندَيل* نقطة مشابهة في مداخلة له بعنوان القضية ضدّ الكمال، أوضح فيها:

يبدو التلاعب في الجينات ممارسة مهنية رديئة نوعًا مّا، أكثر تدخلا وأشدّ شرًّا من الطرق الأخرى لتحسين الأداء والبحث عن النجاح... إنّ هذا التلاعب يقرّبنا بشكل مزعج من اليوجِنيكا... هل كانت اليوجِنيكا المعهودة موضع اعتراض لأنّها فقط قسرية؟ أم أنّ هناك ميل متأصّل من التصميم على أن نُهندس بشكل متعمد سماتنا الوراثية؟... المشكلة بشأن اليوجِنيكا وهندسة الجينات أنّهما يمثلان نصرًا من جانب واحد للإصرار على الموهبة والسلطان مقابل الخشوع، وصياغة القوالب الجامدة مقابل ما يراه الناس من الآراء[274].

أمّا عالم الأخلاق المختص بقضايا البايولوجيا *آرثر كپلان* فقد طرح للنقاش ما يلي:

إنّ العلماء المنشقين واصحاب الأفكار الاستبدادية، ليسوا هم الناس الذي سيسيئون في الغالب إلى هندسة الجينات. إنّهم أنا وأنتم، ليس بحكم كوننا سيّئين، ولكن لأنّنا نريد أن نكون فاضلين، في عالم تتحكّم فيه المنافسة. وعليه من السهل أن نعرف لماذا يريد أولياء الأمور أن يوفروا لأطفالهم كلّ منفعة تخطر على البال... والطريقة المتوقعة لدخول اليوجِنيكا في حياتنا مجدّدًا لن تكون خلسة، بل من الباب الرئيسي لبيوت أولئك الأولياء المتوترين عصبيًا... الذين سيتسابقون لتأمين أفضل مجموعة من الجينات لأطفالهم[275].

إنّ الصورة المتوازية لهيئة اليوجِنيكا الكريهة في نهاية القرن التاسع عشر والنصف الأول من القرن العشرين وصورة ما نراه اليوم، ليستا غير مهمّتين. ففي كلتي الحالتين، وقت كان العلم في مراحله الأولى للتطوّر والدقة غير المؤكّدة، التي ميّزت استخدامه لاتخاذ قرارات كبرى في فرض الإعقام على «المختلين عقليا» في الأيام الخوالي، وليس في اختيار جنين معيّن قبل زرعه أو إجهاض جنين بناء على بعض الاعتبارات الجينية في أيامنا هذه. في كلتي الحالتين، يحاول العلماء والمسؤولون الحكوميون إيجاد توازن بين حرية الفرد في الإنجاب وبين أهداف المجتمع الواسعة. في كلتي الحالتين، تحاول المجتمعات والأفراد اتخاذ قرارات متحيزة لا يمكن التراجع عنها حول، أية حياة تستحق أن تعيش، وأيّة أخرى يجب حرمانها. توجّه هذه البدائل لنا إنذارًا قويًّا.

لكنّه إذا رسمنا جميعا صورة هندسة الجينات البشرية بكاملها باستعمال ريشة اليوجِنيكا النازية، فإنّنا سنقضي على المستقبل المتوقع للتكنولوجيا الوراثية، التي ستساعد في العيش حياة

أطول وأكثر سعادة. «إذا كان أكل لحوم البشر، من أكبر المحرّمات»، حسب ما كتب رِچرد دوكِنز، الفيلسوف وأستاذ جامعة هارفرد، «فإنّ اليوجِنيكا الإيجابية... هي المرشح للمرتبة الثانية... في وقتنا هذا، أصبح لهذه الكلمة وقع مخيف. فإذا تمّ وصف أيّة سياسة بأنّها قائمة على اليوجِنيكا، فإنّ ذلك كفيل بالنسبة لأكثر الناس، كي يطالبوا بالقضاء عليها في الحال»[276]. كما ذكرت عالمة الأخلاق المتخصصة بالبايولوجيا *دايان پول*، «إنّ مصطلح اليوجِنيكا قد صيغ ليجعل لذكرها تأثيرًا ليس فقط سيئًا، بل شاحبًا أيضًا»[277]. لربّما يكون هناك عنصر من بقايا اليوجِنيكا في اتخاذ القرارات في هذه الأيام ويخصّ مستقبل هندسة الجينات البشرية، لكي يجعلنا شديدي الحذر ومدفوعين بالقيم الإيجابية. لكنّ شبح الممارسات السابقة يجب ألّا يكون حكما بالموت على هذه التكنولوجيا المؤكدة لمساعدة الناس لتحقيق حياة أطول وأفضل.

وبخلاف حركة اليوجِنيكا المبكرة، فإنّ نماذج الاختبارات وانتقاء الأجنة ليست عمليات تنظمها وتشرف عليها دولة قسرية عنصرية وذات طابع تمييزي وفق الأسس المستعملة لهذه المفاهيم. «إنّ تطلعات اليوجِنيكا الحديثة لا تدور حول الإجراءات شديدة القسوة المفروضة من قبل السلطات العليا بتشجيع من النازية ومن لفّ لفّها»، حسب ما كتب الصحفي جون *إنتِن*. أضاف قائلًا، «بدلًا من الإندفاع بسبب الرغبة في تحسين الأجناس، فإنّ اليوجِنيكا الحديثة مدفوعة برغبتنا بصحة أطفالنا وقدراتهم العقلية ولياقتهم البدنية في هذا العصر إلى اقصى قدر ممكِن... وأن تتهيأ لهم كافة الفرص لأن يكونوا متفوقين. وهذه ليست أمورًا يجب وضع اليد عليها بسهولة»[278]. يمكن بطبيعة الحال مناقشة وجهة نظر *إنتِن*، ولكن لمصلحتنا ومصلحة جنسنا البشري، يجب أن نبدأ هذا النقاش دون إبطاء.

العقيدة الأساسية للمجتمعات الليبرالية هي أنّه يجب بذل اقصى قدر ممكن لحماية الفرد من تجاوزات الدولة وسطوتها. أحد أوجه هذه الفلسفة في العديد من المجتمعات، هو حماية حقوق المرأة فيما يتعلق بصحتها وإنجابها وفي القضايا الأخرى التي تخصّ منع الحمل والإجهاض. كتب الفيلسوف النوزِيلندي *نِكولاس أگر* في كتابه المعنون (اليوجِنيكا الليبرالية: دفاعا عن تعزيز الفرد)، «إنّ حريّة الإنجاب تمثل الخيار للمرأة أن تنجب أو لا تنجب، ومن سيكون شريكها في عملية الإنجاب هذه، ومتى ستكون وكم وليدا ستنجب. تضيف اليوجِنيكا الليبرالية فرصة اختيار مؤهلات الطفل، إلى تلك القائمة من الحريات».

يظهر *أگر* الفرق بين اليوجِنيكا الليبرالية وبين «اليوجِنيكا السلطوية». والأخيرة هي الفكرة بأنّ الدولة هي من يقرّر ما يشكّل الحياة الجيدة للفرد. «في الوقت الذي سعت فيه اليوجِنيكا السلطوية القديمة لإنتاج مواطنين وفق نموذج مصمّم مركزيًا»، حسب قوله. ثمّ يضيف «أنّ العلامة الفارقة في اليوجِنيكا الليبرالية هي أنّ الدولة تتخذ موقفًا محايدًا». الطريق للحصول على المعلومات الكاملة حول معالجة الجينات الوراثية genetic therapy، ستسمح لأولياء الأمور أن يعيدوا النظر في قيمهم في *اختيار* التحسينات التي يرونها مناسبة لأطفالهم في المستقبل. أمّا اليوجِنيكا السلطوية، فإنّها لا تؤمن بالحريات المشار اليها، في الوقت الذي يطالب فيه الليبراليون التوسّع فيها.

في خطوة معارضة لقرارات الحكومة في الأنظمة السلطوية، والتي تخصّ الطبقة الاقتصادية وعرق الفرد، تركّز أنظمة اليوجِنيكا الليبرالية على الفرد. يرى *أگار*، «إنّ دور الوالدين، خاصّة فيما يتعلق بالحياة الجديدة، سيقودهما لاختيار التحسينات التي يريدونها لأطفالهما»[279]. لكنّ اختيارات الوالدين هذه تحتاج أن تكون متوازنة ومتناسقة مع الاعتبارات الأوسع لتأثير المجتمع على قرارتهما الفردية.

وعلى أيّة حال، فإنّ اختيارات الوالدين مبدأ أساسي لكنّه ليس محدودا. فالولايات المتحدة مثلا قد ضمنت لمعتنقي **ديانة الآمِش** أن يحموا أطفالهم من تأثيرات الحداثة، وكما اجازت **لليهود الهَسِدِك** Hasidic أن يربّوا أطفالهم وهم يتحدثون فقط لغة اليِدِش Yiddish ولا يتعلمون الإنگِليزية. كما أنّ العديد من الولايات تمنح الأمّهات الحوامل فرصة محدودة جدّا لتعريض الأجنة إلى شرب الكحول وتناول العقاقير الطبية. كما أنّ جماعة **كرسچن ساينس** تمنع قبول هؤلاء النسوة، اللواتي يعملن ذلك، من المعالجة في أقسام الطوارئ في العيادات الطبية الخاصة بهذه الجماعة. كما أنّه من المستحيل التفكير بأنّ اختيارات الوالدين هذه فردية وتقع خارج السياق الاجتماعي والسياسي.

إذا أخذنا بنظر الاعتبار اختيار الأجنة القائم على تحاشي الأمراض الوراثية، على أنّه أمر مسموح به وفق اغلب النظم التشريعية حول العالم، فمن غير المتوقع أنّ القرارات المتعلقة بإنجاب أطفال بصحة أفضل في المستقبل وعافيتهم جيدة، ستُمنع إلى الأبد في اغلب البلدان. وإذا حدث ذلك، فإنّ السؤال الذي يواجه الآباء والأمهات سيتحول عمّا إذا كان الاختيار وبالتالي التلاعب بالأجنة

وتعديلها فقط، بل إلى أيّ حدّ يمكن فعل ذلك، سيطلق عليها اليوجِنيكا. لكنّ التسميات لم تعد بذات أهمية وستتغيّر.

جزم *آدم كَوِن* في مقالة استفزازية له عام 2017 نشرتها صحيفة لوس أنجلس تايمز تحت عنوان «هل توجد حقا يوجِنيكا جيّدة؟ قال فيها، «يستحقّ القرن العشرين أن يوصف بأنّه قرن الحرب على الضعفاء... ويوجِنيكا القرن الواحد والعشرين، يجب أن يُطلق عليها اسم قرن الحرب من أجل الضعفاء»[280] النقطة هنا مثيرة للجدل بالضرورة. فكما أنّ هندسة جينات أطفال المستقبل، ستحدث بكلفة محتملة، فسيكون البديل لها ذا كلفة محتملة أيضًا.

ليس من الصعب أن نتصور سيناريوهات المستقبل حين يحتاج البشر أن يحوّروا جيناتهم لكي يعيشوا حياة ملأى بالتغيّرات السريعة في البيئة التي يعيشون فيها نتيجة الاحترار المناخي العالي ودرجات البرودة المنخفضة، التي ستنجم عن حرب نووية أو اصطدام جرم فضائي بالأرض، أو فايرس قاتل تصعب السيطرة عليه أو أشياء أخرى أو تغيّرات في المستقبل لا يمكن أن نتنبأ بها اليوم. بعبارة أخرى، إنّ هندسة الجينات يمكن أن تتحوّل بسرعة من اختيار مسألة صحيّة أو نمط حياتي، لتصبح أمرا واجبا تستدعيه ضرورة البقاء. الاستعداد بشكل مسؤول لهذه المخاطر المستقبلية المحتملة، قد يتطلب أن نبدأ بتطوير التكنولوجيا الأساسية، ما دام لدينا بعض الوقت.

لا يتعدى التفكير بصدد الاختيارات الجينية في سياق سيناريوهات المستقبل الذي نتصوره، كونه مسألة مجردة بطرق شتى. ولكن من ناحية التوقع، فإنّ مساعدة طفل ليعيش حياة صحية طويلة هي عكس ذلك تماما. وكلما يموت شخص تموت معه معرفته وتنتهي علاقته بالآخرين. إنّنا نعيش فقط في قلوب من يحبوننا وفي الكتب التي نؤلفها واكياس البلاستِك التي نرميها. ولكن ماذا يعني أن يعيش الإنسان بضع سنوات أخرى إضافية بشكل صحّي لأنّه تمّ اختياره وراثيا أو تمّت هندسة جيناته لجعل ذلك ممكنا؟ كم من المخترعات نحتاج أن نبتكر والقصائد التي نكتب والأفكار التي نطرح ودروس الحياة وعبرها التي تنتقل من جيل إلى جيل؟ ماذا يجب أن ندفع جرّاء ذلك كأفراد ومجتمع وأيّة قيمّ نستعدّ أن نجعلها مرنة من أجل تحقيق ذلك؟ ما هي المخاطر التي لدينا الاستعداد للخوض فيها كأفراد ومجتمع؟ أجوبتنا عن هذه الأسئلة ستحرّكنا إلى الأمام وستطرح علينا بعض التحدّيات الأخلاقية الهائلة.

* * *

يرى بعض الناس موضوع التنوّع diversity في المجتمع بأنّه طريقة لإصلاح الخطايا التأريخية، التي ارتكِبت ضدّ الأقليات السكانية. ويراه البعض الآخر بأنّه طريقة لتأكيد جامعاتنا وشركاتنا ودوائر حكوماتنا وغيرها من المؤسسات للإنتفاع من هذا التنوع في وجهات النظر الواسعة. لكنّ كافة هذه التفاهمات تنتقص إلى نقطة أكثر اساسيّة، وهي إنّ التنوع كان وسيظلّ الستراتيجية الوحيدة لبقاء كافة الأجناس. الطفرات العشوائية هي أحدى ركني التطوّر وفق نظرية داروين، وهي حقيقة اسم آخر لنوع الأسلاف والأعراق. هذا التنوع هو الذي مكّن أسلافنا المكونين من خلية واحدة أن يتحوّلوا إلى ما نحن عليه الآن. كان التنوع هو ما جعل المخلوقات التي ليس لها القدرة على التأقلم أن تنقرض، وتلك التي لها القدرة على التكيّف وأكثر ملائمة مع تغيّرات العالم من حولها، على النمو والتكاثر. يبدو التطور أحيانًا تقدّما عنيدا من الأحسن نحو الأسوأ، من القرد الذي يمشي على اربعة قوائم إلى الإنسان الذي يمشي على قدميه منتصبا. لكن ذلك هو ليس المسألة. يفتقر التطور إلى الإتجاهات ولا يهمّه من الرابح أو الخاسر في القضية. تتغيّر الظروف بشكل دائم، وعليه فإنّ الكائنات بشكل عام ليس لديها إحساس بأنّها تتطوّر ولا توجد طريقة ممكنة لمعرفة الصفات، التي يتمّ اختيارها أو رفضها والتخلص منها في ظروف المستقبل، الذي ما كان الأسلاف يتصورونه.

لو اعطيت القرود في الأشجار الاختيار لربّما اختارت أن تجعل قدرتها على التسلق والقفز بين الأغصان أكثر فاعلية. ولربّما كان الأسلاف الذين بقوا بين اغصان الأشجار قد نظروا إلى ذلك المجنون الأول الذي نزل من الشجرة واعتبروه نوعا من الكائن الغريب. لكنّ التأقلم المرتبط بالعيش في السهول قد منح الإنسان ميّزات مرتبطة بظهور الطفرات الوراثية بشكل مستمرّ. ما كان اغلب أسلافنا من البشر الأوائل الذين غادروا أفريقيا، لكنّهم كانوا البشر الأوائل الذين ظلوا على قيد الحياة. يُفترض أنّهم استمروا لأنّهم طوّروا مجموعة من الميّزات التي وفّرت لهم فرصا أفضل للعيش في ظروفهم الجديدة. لو كُنّا سألنا أجدادنا في اللحظة التي غادروا فيها أفريقيا عن الصفات التي يحتاجونها، لكانوا في حيرة لمعرفة ذلك. التنوّع الجيني هو الذي منحهم مجموعة من الصفات، التي ساعد البعض منها في بقائهم احياء، ولرّبما اقتصر ذلك على بدائل صغيرة من البشر.

ولذلك فإنّ التنوع ممنوح لنا وأنّنا بحكم ذلك يجب أن نبذل جهودنا للتحكّم بتحيّزاتنا في اللحظة القائمة. لقد تُرِك لنا نحن البشر بحكم ابتكاراتنا أن نتمايل بسهولة مع ما نراه حولنا. راجعت دراسة حديثة في أستراليا سجلات 154 امرأة تمّ اختيارهن للتبرع إلى بنك الحيامن في مدينة

كوينزلاند. وجدت الدراسة أنّ هؤلاء النسوة فضلن متبرعين ذوي تحصيل دراسي عال ومنطلقين وأقلّ انضباطًا[281]. ولو أعطي الخيار، فمن المتوقع أنّ أغلب الأولياء يريدون أطفالًا أكثر ذكاء وأطول قامة وأجمل سمات وأعمق عاطفة، لأنّ هذه الصفات هي المرغوبة وتحظى بالقبول الأفضل في عالم اليوم[282]. كلّ من هذه الصفات يعكس تحيّزًا حضاريًا معينًا.

وكلّما اقتربنا من مواضيع حساسة وذات أهمية ثقافية مثل الأصل والتوجّه الجنسي والذكاء، كلّما ازدادت المخاطر، التي تميل بنا كمجتمع بفعل التحيزات الاجتماعية الخبيثة. يسألني في الغالب بعض الأشخاص المهتمين بالموضوع بعد انتهاء محاضراتي إنْ كان اختيار الأجنة أو تعديل الجينات راجعا إلى رغبة الأولياء لفعل ذلك تحاشيا من أن يولد لهم أطفال مثليّو الجنس والتأكّد من أنّ أطفالهم يولدون ببشرة بيضاء، وجوابي على ذلك «ربّما».

بالرغم من أنّه لا يوجد «جين مثلي الجنس» فإنّ الحالات، التي لا تقبل الجدل من خلال دراسات التوائم وارتباطات الجينوم الواسعة بأنّه توجد على الأقلّ أسس جينية هامة لحالة المثلية الجنسيّة[283]. وسيكون من المستحيل أن نقرّر اليوم أيًّا من 15 جنينا embryos يمكن زرع أحدهم في رحم الأم، بأنّ هناك احتمال كبير أنّ ذلك الجنين مثلي الجنس. ولكنّ ذلك ليس دائمًا هو الحال.

ويصدق نفس الشيء على لون بشرة الجلد. حدّد الباحثون في دراسة أجريَت عام 2018 في جامعة بَنسِلفَنيا 8 جينات تؤثر بشكل هام على لون بشَرَة الجِلد[284]. إنّ طفرة واحدة في جين SLC24A5 مسؤولة إلى حدّ كبيرعمّا نسمّيه البشرة البيضاء. ومن المتوقع أنّ الآباء والأمّهات، الذين يختلف لون بشرتهم، سيختارون في القريب العاجل من بين الأجنة اللون الذي يريدونه لأطفالهم أن يكون أسمرا أو أبيضا. وعلى المدى البعيد سيكون ممكنا من الناحية العملية تعديل جينات الأجنة قبل زرعها أو إخضاع الشخص الناضج لعلاج جيني بهدف تغيير لون بشرته. إنّ تغيير الوان البشرة لن يكون فقط مقتصرا على البشر، فقد استطاع العلماء اليابانيون استخدام جهاز **كرِسپر** لتغيير الوان الأوراد من الأرجواني إلى الأبيض عن طريق تعديل جين واحد فقط[285]. المسألة إذن مسألة وقت، حتى يكون بمقدور البشر أن يختاروا اللون المفضل. سيكون لتغييرات من هذا القبيل والتي تغير طبيعة التنوع، تأثير كبير على الممارسات البشرية، كما أيضًا قد يعرّضنا إلى مخاطر لا نعرف كنهها الآن.

دجّن أسلافنا على مدى 8 آلاف عامًا محصول الذرة وحسّنوه كي يعطي مردودا أفضل نوعا وأكثر كمّية. ولكن بسبب هذه التعديلات، أصبح المحصول متجانسا وازدادت احتمالات إصابته بالآفات الزراعية. ويصدق نفس الشيء إذا حاول عدد كاف من الناس حول العالم اتخاذ القرارات الشخصية حول مستقبل اطفاهم اعتمادًا على أيّة تحيزات ثقافية/حضارية، فإنّنا سنتعرّض إلى مخاطر جماعية بسبب دعم تحيزاتنا بالتسليح وجعل الأجناس متشابهة لا تقدر على مقاومة بعض نماذج الفايروسات الطبيعية أو الحروب الجرثومية أو غيرها من النكبات التي لا نعرف طبيعتها الآن، وستكون تحديّا لنا في المستقبل. إذا لم نتبيّن المنافع التطورية للتنوع باشكاله العديدة، فإنّنا نخاطر بإيقاع الأذى بانفسنا، باسم القيام بجهود لمساعدتها كأفراد وكمجتمعات.

في عام 2017 دعاني أحد المتعاقدين العسكريين مع الجيش الأمريكي إلى مؤتمر دُعيَ إليه العديد من المهتمين بقضايا المستقبل للقاء القيادات العسكرية من أجل مناقشة آثارالثورة الجينية على مستقبل الصدامات والحروب، وكيف يجب أن تستعدّ القوات المسلحة الأمريكية لتلك الاحتمالات. قُسّمنا إلى مجموعات بقصد وضع سيناريوهات متعددة لما يمكن أن يحدث وطُلِب من كلّ مجموعة أن تقدّم رؤيتها بصدد الموضوع. قدّمت المجموعة الأولى مخططا حول كيفية هندسة جينات الجنود في المستقبل ليكون بمقدورهم التعرف بسهولة على أنماط سلوك العدو واتجاهاته.

«لماذا لا نجنّد فقط الأشخاص المصابين بالتوحّد autistic من ذوي الأداء العالي، الذين يعرفون حلّ بعض أنماط المشاكل الفكرية، التي يعجز عنها غير المصابين بالتوحّد؟» ضمّيت صوتي إلى اصواتهم وأنا أحاول تجنب أن أكون ساخرا، فقلت «لماذا نحاول هندسة جينات الجنود ليكونوا قادرين على التعرّف على أنماط سلوك العدو، ولدينا ما يتوفّر منهم الآن؟»[286].

يجب طرح مثل هذه الأسئلة بشكل موسّع ونحن ندخل عصر هندسة الجينات البشرية. لماذا نولد أطفالا بمعدّلات ذكاء عالية، حين يكون بمستطاعنا تحسين حياة مجتمعنا وتطوير القدرات الفكرية العالية وحلّ المشكلات بتوفير الفرص الحقيقية وبناء مناهج الدراسة الأفضل في مدارس المناطق الفقيرة من حولنا؟ لماذا نُقدِم على اختيار الجينات لتخفيض معدلات الاضطرابات ثنائية القطب biopolar disorders في الوقت الذي يكون فيه أعظم الفنانيين في العالم ممّن حصلوا على مكانة مرموقة، بسبب أنّ ادمغتهم تعمل بطرق مختلفة؟[287].

هذه أسئلة من الصعب الإجابة عنها، لكنّه توجد فكرة اختيار اولياء الأمور للأجنة، التي من النادر أن تصبح مثلية الجنس عند النضوج، أو أنّ الأمّ والأب ثنائيّا العرق ويودان تعديل الجين ليكون لون بشرة الجنين غير لونها الأصلي. هذه جميعا سلوكيات بغيضة من الناحية الأخلاقية، لكنّها في نفس الوقت تشكل ضربة ضدّ منافع تنوع شخصيات البشر وأصولهم. نظرا لأنّ ما طُرِح أعلاه قد يكون خيارات المستقبل، فيجب أن نضاعف جهودنا اليوم لإيجاد طرق جديدة أفضل لنحتفل بالتنوع ونستثمره في مجتمعنا ضمانا لسلامة قدراتنا الوراثية المشتركة، ولكي نحول دون تحوّل الثورة الجينية إلى واقع مرعب في النهاية. التنوّع هو رأسمال البشرية الذي يجب المحافظة عليه والتمسّك به، لأنّ محاولة تقليل التنوع reduce diversity، حتى لو كان مصحوبا بالنوايا الحسنة، سيخلق لنا مشاكل معقدة.

من جهة أخرى، سيكون من الخطأ المبالغة في مساوئ جوانب التنوّع الجيني. إنّ عددا قليلا من الجينات يمكنه أن يُنقذنا وعدد آخر يمكنه أن يقضي علينا. وكلّ ما تبقّى تقريبا يقع في الوسط ويمكن تجريبه بطرق مختلفة وضمن سياقات مختلفة أيضا. أنّ نقترح قبول الأمراض الشنيعة التي تقتل أطفالنا بسبب احترامنا للتنوّع الجنيني أو نسمح للأولياء أو العلماء أن يهندسوا الأطفال الذين يحملون الجينات المهلكة، لكي نحافظ على التنوّع وتحسّنه، سيكونان منافيين للعقل. وقدر تعلق الأمر بهندسة الجينات وإمكانية استخدامها للحدّ من التنوع الجيني، فيمكن القول إنّها يمكن أن تستخدم لتحسين كلي الإتجاهين. ومهما كان الأمر، ولكي نصل إلى الى تحقيق الحدّ الأعلى من الثورة الوراثية، يجب علينا أن نتكلم بوضوح ونحتفل ونؤكّد من خلال خياراتنا كأفراد وكمجموعات قيمة التنوّع خلال عصر الجينات القادم، ونتصرف بسلوكية أعمق تفهّما ممّا نفعله الآن.

والى جانب التنوّع، فإنّ قضايا نصيب الشعب والفرد وحقهما من الثروة يجب أن يكونا في مقدمة تفكيرنا وفي مركزه.

* * *

تحظى كافة الاختراعات بقبول متفاوت.

يوجد دائمًا أوّل شخص أو أوّل مجموعة ممّن يتسنّى لها الإنتفاع من اصناف التكنولوجيا قبل غيرهم. لا يتفق العلماء حول موضوع إن كان أسلافنا الأوائل Homo قد تنافسوا بشدة واصطادوا

بكثرة ونجوا أو أنّهم كانوا أكثر انتصابا من أبناء عمومتهم من سلالة الإنسان البدائي Neanderthal وأدّوا به إلى الإنقراض. ولكن مهما كان الأمر، فقد استخدمنا أدواتنا وستراتيجيتنا الاجتماعية واعضائنا الجنسية وأدمغتنا لخلق تأثيرات مدمّرة. وبعد عشرات الآلاف من السنين أسس المغول أكبر امبراطورية في التاريخ من حيث التمدّد الجغرافي ودمجوا ما بين الميزات العسكرية والفروسية، وهي الخطوة التي خلقت لديهم ثقافة المحاربين الإشداء القساة واستنباط أفكار جديدة حول التنظيمات الاجتماعية. رغم أنّ الصينيين هم أول من صنع البارود والبوصلة، فإنّ هذه الاختراعات قد استخدِمت من قبل الأوروپيين لصنع المدافع والبنادق والسفن الحربية، فسخّروا هذه القدرات ليستعمروا بقية العالم. وفي كلّ واحدة من هذه القضايا، فإنّ قدرا قليلا من التفوق التكنولوجي قد تحوّل إلى حقب بل قرون من السيطرة، وفي حالة الهولنديين ارتكاب جرائم الإبادة.

هناك عدة طرق ستقود فيها التكنولوجيا الجينية إلى هذه الأصناف من النتائج المرعبة. إذا كان باستطاعة الإثرياء والناس المحظوظين فقط اختيار الهندسة الجينية لجعل أطفالهم يمتلكون ما يشاؤون من السمات المفيدة، فإنّ الجيل الجديد سيكبر وسيسيطر على المجتمعات الأخرى بسبب قدراته الملموسة. لا شكّ أنّ ارباب العمل سيترددون ويخاطرون في توظيف شخص لم يُحسّن أداؤه بوجود منافس قد هُيّأ لأداء العمل بشكل أفضل وفق أيّة مقاييس. فهؤلاء دائمًا أعلى احصائيا، حتى وإن كانت هناك شكوك حول مصداقية تلك المؤشرات. لو سُمِح بإجراء التحسينات واستمرّ تفاوت الفرص لوقت طويل، فإنّ كلّ جيل من أطفال العائلات المحسّنة سيكون أكثر تحسّنا من الناحية الجينية من الجيل الذي سبقه وسيظل زملاؤهم من الذين لم يخضعوا لعملية تحسين الجينات في الدّرَك الأسفل، وستكون الفجوة بينهم وبين زملائهم في المجموعة الأخرى غير قابلة للردم والتضييق.

ولكن رغم الأهمية القاطعة لتحقيق المستويات الأفضل للمساواة، فإنّ المساواة المطلقة absolute equality يجب ألّا تكون هي الهدف. يناقش الفلم المشهور Gittaca، الذي عُرض عام 1997، وصوّر حياة شاب لم تُعدّل جيناته وأحبّ أن يكون رائد فضاء. سُدّت الطرق بوجهه بعد مراجعة «ملفه الوراثي» genetic profile من قبل اللجنة المختصة. الأشخاص الذين تمكنوا من الدخول في برنامج الفضاء، وفق رواية الفلم، قد حققوا ذلك بفعل المثابرة grit وخفة الدّم wit والحيلة wile. في الواقع الحياتي، هل يريد المجتمع حقا شخصا لم يُعدّل وراثيا لكي يقتحم الفضاء،

إذا كان يوجد آخر أمثل وراثيا genetically optimized يكون قادرا على مقاومة الإشعاعات ومحافظا على قوة عظامه بحيث يستطيع العمل في ظروف انعدام الجاذبية؟

بدأ تجريب العديد من الاختراعات التكنولوجية على عدد قليل من النخبة، قبل أن تصبح شائعة للاستعمال العام. خلال لقائي مع عدد من القرويّات المشاركات في برنامج للقروض الصغيرة خلال زيارتي إلى بَنگلادَش عام 2012، تولد لديّ انطباع مؤثر للغاية. كيف أنّ هؤلاء النسوة اللواتي حصلن على القروض استطعن فتح أعمال صغيرة واعتنين بأمور أسرهنّ في ذات الوقت. لكنّهنّ أسِفن لأنّهنّ أدركن أنّ فرصهن لعمل أكثر من ذلك محدودة للغاية. استطعت وعن طريق تلفوني المحمول أن اتصل بالمكتبة العامة لشبكة الإنترنّت للحصول على معلومات عن الموضوع. شعرت مباشرة بميزة كبيرة لاتساع مجالات المنافع المتاحة لي كوني وُلدت في أمريكا. كيف يكون بإمكان هؤلاء الناس الفقراء أن يحصلوا على هذه التكنولوجيا الفائقة باهضة السعر التي احملها في جيبي وامسكها بيدي؟ لقد تساءلت بحيرَة. أمّا اليوم، فإنّ القرويين في بَنگلادَش باستطاعتهم الحصول على التلفون الذكي الجديد مقابل 60 دولارًا فقط، وأنّ مستويات استعماله قد وصلت حدّ السماء. لو طلبنا مجالا مفتوحا للحصول على التلفون المنقول لكلّ فرد منذ البداية، لما كانت صناعة هذه التلفونات قد تطوّرت بسرعة كافية أدّت إلى خفض سعرها في كلّ مكان، فأصبح بمستطاع الناس الفقراء حول العالم الحصول عليها.

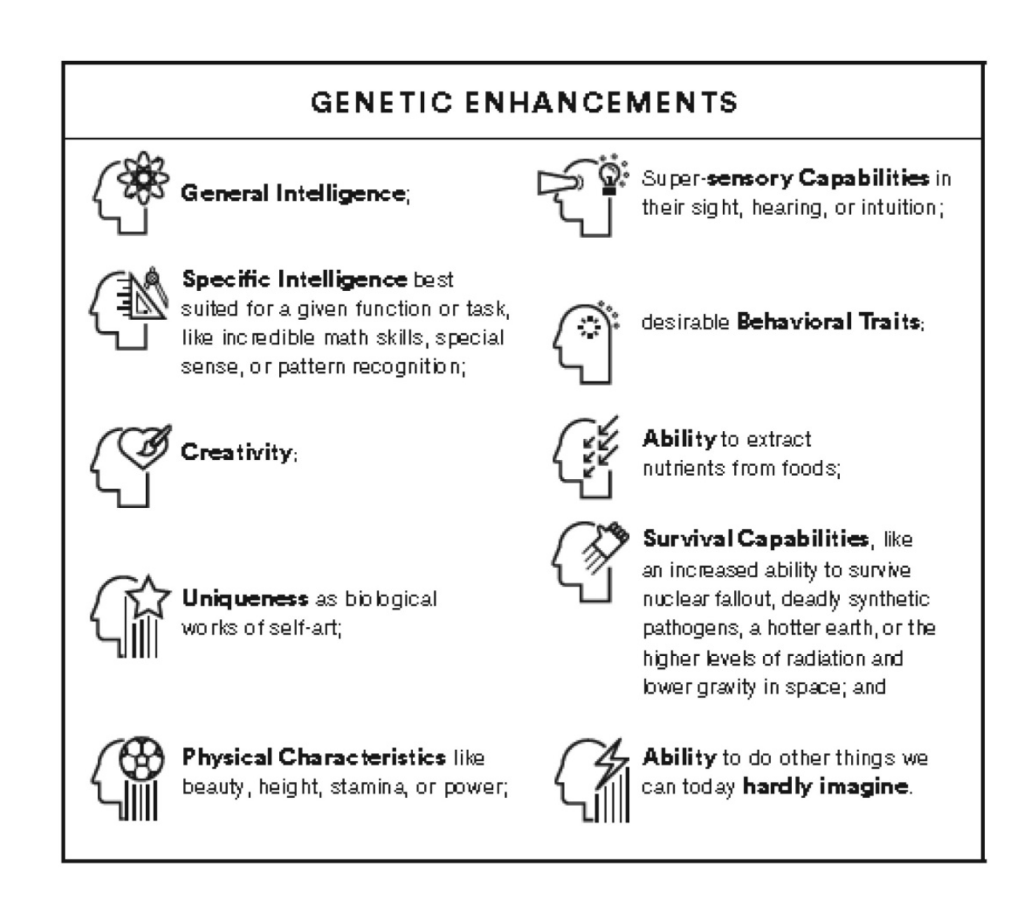
لقد شرحنا كيف أنّ الحكومات وشركات التأمين ستشجّع مسألة مسح الجينات وتعديلها لإزالة الأمراض الوراثية بقصد تحاشي دفع كلفة توفير العلاج والرعاية الصحية لمن يولد مصابا بها ما دام حيّا. لكن ذلك لا يعني أنّه سيكون بمقدور أيّة عائلة فعل ذلك أو أنّها ستقوم بالمهمة على خير وجه، لأنّ الحالة القائمة غير الفعالة لها دائمًا مَن يحميها. أولًا، إنّ بعض العائلات المتمكنة ماديّا ستختار تعزيز جينات أطفالها بغضّ النظر عن مساعدة الحكومة أو شركات التأمين، لأنّها قادرة على دفع الكلفة. في الحقيقة لا توجد اجوبة بسيطة عن هذه الأسئلة وإنّه من العدل أن نسأل إنْ كان حرمان العائلات غير القادرة على دفع الكلفة، يشبه الحال في اقتناء التلفون الذكي المحمول أو أجهزة الكومپيوتر المعقدة واستفادة الجميع على السواء من هذه التقنيات وما توفره.

في الوقت الذي يخشى فيه العديد من الناس مستقبلا بائسا لتعزيز الوراثة، فإنّ حالة الهوية الجينية يجب الّا تُرفض مباشرة. لقد وُلد *موزارت* في كنف قصر پسبرگ ولكن كم *موزارت* يتلظى

بنيران جحيم العيش في مخيمات اللاجئين السوريين؟ هل يجب علينا أن نفكّر دائمًا أنّه من الخطأ أن تعرف مدارس الموسيقى أيّا من الأطفال المتقدمين للإنضمام اليها، لديهم استعداد وراثي لتمييز النغمات الموسيقية الكاملة[288]. هل سنعترض على المسح الجيني لأطفال المجتمعات المحرومة بقصد تشخيص مَن منهم لديه القدرات الوراثية الفائقة لكي يمكن أن نوفر لهم الأجواء المناسبة واختيار طرق التدريس التي تتلائم مع تنمية قدراتهم؟

لا أحد يريد أن ينشأ في مجتمع حيث يُحكم فيه على الفرد منذ ولادته ليقوم بدور معيّن وعدم إتاحة الفرصة أمامه لاكتشاف شغفه وما يمكن أن يحققه. ومن واجبنا توفير مثل هذه الفرص امام الجميع. فتوفير الفرص الإضافية للأشخاص الذين لديهم الاستعدادات الوراثية في مجال دون مجال آخر، قد يُصبح بمرور الوقت فرصة للمجتمعات المحرومة. وهذا يشكل نعمة للقدرة التنافسية على مستوى الوطن، وهو عين الصواب. لربّما يكون بمستطاع البعض منّا بمرور الحقب والقرون أن يكون أولادنا واحفادنا يولدون وهم من ذوي الصفات والقدرات الوراثية المعززة enhanced.

يُظهر الجدول التالي جردا لتلك القدرات والصفات الوراثية التي يمكن تعزيزها، وتشمل الذكاء العام والذكاء الخاص والقدرة الإبداعية والتمييز والصفات البدنية والجسمانية والقدرات الحسيّة والصفات السلوكية والقدرة على الاستفادة القصوى من المواد الغذائية والقدرة على تحمّل الصعوبات والظروف القاهرة، وكذلك القدرة على عمل الأشياء التي لا نعرفها في وقتنا هذا.



جدول القدرات والصفات الوراثية التي يمكن تعديلها

وحتى لو كانت هذه الصفات والقدرات المعززة غير موزّعة بشكل متناسب، فهناك قضية تتطلب في ضوء دفع القيم الإيجابية من بعض الأفراد أن يقدّموا خدمات كبيرة في مختلف الميادين، كالعلوم والفلسفة والفنّ والسياسة، التي ستجعل العالم مكانا أفضل لكلّ فرد.

وكلما مضينا في تطوّرنا التكنولوجي، فإنّنا نحتاج أن نولِد ونربّي مجموعة من المبرمجين الرائعين لتوسيع دور الإنسان في عملية ترابطه مع الآلة. لربّما تكون القدرة البشرية على الابتكار وصفات الإنسان مثل العاطفة القيّمة جدّا لخلق عالم الذكاء الاصطناعي، حتى نبدأ سباقا عالميًّا في ميدان هندسة الجينات لولادة أجيال من الأطفال المُبدعين الذين تغمرهم مشاعر الودّ والعاطفة نحو البشر الآخرين. وحتى لو ظهر أنّ مثل هذا التصور فيه بعض التخوّف، فإنّنا نحتاج تحديد تعزيز الجينات وخلق القدرات وفق المعايير السليمة، تماما كما قيست سرعة السيارة في مطلع عصر تصنيعها، بقوّة الخيول التي تجرّ العربات.

إنّ قبول تشخيص الجينات، التي يجب التخلص منها لأسباب عملية، أمر مبرّر. لكنّه على أيّة حال، لا يعني قبول المستقبل حين توجد فيه فجوة بين القدرات التي تستند إلى الجينات المعزّزة وغير المعزّزة، وأنّ هذه الفجوة تزداد اتساعا.

* * *

إثر كلّ محاضرة القيها عن مستقبل هندسة الجينات، يتصدّى لي أحد الحاضرين بسؤال حول عدم المساواة واخطار هندسة الجينات في المستقبل. وجوابي على ذلك دائمًا هو نفسه ولم يتغيّر. إنّ عدم المساواة في المسائل التي تخص الجينات يشكّل قلقا حقيقيا لمستقبلنا. ولكن إذا كنّا نخشى عدم المساواة على المدى البعيد، فيجب أن نبدأ العيش منذ الآن وفق معاييرناعن هذه المسألة في هذه الأيام. إنّ التعرض لمقارنة الفروقات الحالية بين من يقرأ هذا الكتاب، وبين أحد مواطني جمهورية أفريقيا الوسطى، أمر معقول كبداية لمثل هذه المناقشة.

بسبب معضلة الحرب الأهلية هناك، فإنّ 76% من سكان جمهورية أفريقيا الوسطى يعيشون في حالة فقر، وتمّ تهجير ربعهم إلى مناطق خارج مناطق سكناهم الأصلية، ولا يتوفر الطعام لحوالى نصف السكان ويعاني 40% من أطفال البلد من مشكلة توقّف النمو. إنّ انتشار سوء التغذية بين الأمّهات، يمكن أن يؤدي إلى التأثير على القدرات العقلية عند أطفالهن، مقارنة بالأطفال الآخرين المولودين في بيئات أفضل[289]. بالمقارنة مع أطفال ذلك البلد، فإنّ الأطفال المولودين في بلدان متقدمة تكون جيناتهم معزّزة فعلا. إذا كنّا نهتم بموضوع المساواة، ونعني هنا المساواة الجينية، فيجب أن نداعي بها في عالمنا الحالي اليوم، من أجل وضع نموذج لأحسن أخلاقياتنا ليوم غد، حين تكون هندسة الجينات أمرا في متناول الجميع.

ونحن نتطلع للعيش في هذه القيم، يجب أن نتذكّر أنّ غياب المساواة في مسألة بعض الجينات راجع إلى طبيعة الإنسان ذاته، وهو يشكّل جزء رئيسيا في موضوع التنوّع. إنّ السيناريو المخيف حقا للجنس البشري، ليس في عدم المساواة الجينية، بل المساواة الجينية الكاملة. وفي نفس الوقت، فإنّ عدم المساواة سيندفع مسعورا لقتل الناس ويصبح كابوسا مخيفا. إنّ الحلّ المنصف المعتدل لهذا التحدّي هو ما يجب فعله لتحقيق التوازن بين الوفرة والندرة في ميدان المساواة الجينية. كذلك يتوجّب على أفراد العنصر المتغطرس مثلنا، أن يُدركوا على الأقلّ أنّ مثل هذه الافتراضات هي افتراضات معقولة.

في مقدّمة كتابه عن فكرة الإنسان فوق العادي، السوپرمان، أشار الفيلسوف الألماني *فرِدرِك* نيچه إلى ما معناه أنّ الإنسان ما سقط على الأرض متكاملا، كما يدّعي الكتاب المقدّس، لكنّه بدلا من ذلك كان نتاج عملية تطوّريّة، وأنّنا في وضعنا الحالي نمثل خطوة في طريق ذلك التطوّر. إنّ القاء نظرة عابرة علينا، حسب تساؤل الفيلسوف، تكشف شيئًا يجب أن نتغلب عليه. «إنّ كافة الكائنات قد خلقت لنفسها شيئًا يتجاوز ماهيتها، فهل نريد أن نكون نقطة لانحسار هذا الطوفان العظيم أو حتى نعود لمرحلة البدائية، بدلا من التغلب على الإنسان في وضعه الحالي؟»[290].

كان *جَولِيَن هُكسلي* الخبير في علم الحيوان ورئيس جمعية اليوجِنيكا البريطانية، وهو أخو المؤلف الشهير *ألدُس هُكسلي*، من المؤمنين بنظرية اليوجِنيكا في السنوات التي سبقت الحرب العالمية الثانية. أيّد الإعقام الاختياري «للمتخلفين عقليا» ووضع حدّ للهجرة إلى بريطانيا. وحتى بعد أن وضعت النازية مسمارا حادًا في قلب نظرية اليوجِنيكا، كافح *هُكسلي* لسنوات من أجل تقديم تلك النظرية بحلة جديدة اعتمادًا على مبادئ «الإنسانية العلمية»[291]. في عام 1957، وهو العام الذي أطلق فيه السوفيت قمرهم الاصطناعي **سپوتنِك،** ففتحوا باب العلم واسعا أمام العالم وأذِنوا ببزوغ عصر الفضاء، كتب *هُكسلي* مقالة بعنوان «ما بعد الإنسانية» ورد فيها:

> *إنّ الكائنات البشرية، إذا أرادت أن تتجاوز نفسها فليس بشكل مبعثر، هذا هنا بطريقة معينة وذاك هناك بطريقة أخرى، ولكن معا جميعا كبشر، وإنّنا نريد اسمًا لهذا الإيمان الجديد. ربّما «ما بعد الإنسانية» قد يؤدي الغرض. يبقى الإنسان إنسانا، ولكن عليه أن يتجاوز نفسه بإدراك إمكانات أخرى لطبيعته البشرية... إنّ بإمكان البشر أن يكونوا على اعتاب نوع جديد من الوجود يختلف عمّا نحن عليه كاختلافنا مع الإنسان البدائي هومو Homo منتصب القامة، الذي ظهر في الصين. إنّ ذلك على أقلّ تقدير إدراك واع للمصير الحقيقي*[292].

في السنوات التي تلت ذلك، إتسعت حركة ما بعد الإنسانية من حركة تشمل المثقفين والمفكرين والمخترعين، إلى حركة عالمية لها اتحاداتها وبياناتها وحتى مرشحيها للمناصب السياسية. كان في طليعة هؤلاء مفكرون أذكياء مشهورون من قبيل *هانز مُرافِك* و*رَيّ كُرزوَيل* و*نِك بوسترُم*، وهم جميعا من قياديي هذه الحركة وفق **بيان حركة ما بعد الإنسانية** الصادر عام 1998. «تأكّدوا أنّ الإنسانية لم تحقّق كافة إمكاناتها بعدُ». وهذه الإمكانات يمكن توسيعها، «عن طريق

التغلب على الشيخوخة والقصور المعرفي والمعاناة اللاإرادية وتحديد تحرّكنا ضمن كوكب الأرض». يجب أن تتهيأ للفرد، «مجالات واسعة للاختيار وكيف يمكن تحقيق الحياة الأفضل»، بما فيها، «استخدام التكنولوجيا التي يمكن تطويرها لإغناء الذاكرة وقوّة التركيز والطاقة العقلية والعلاجات التي تطيل أمد الحياة واختيارات الإنجاب باستعمال التكنولوجيا، ومنها طرق التجميد والخزن وغيرها من السبل الممكنة لإحداث التعديلات البشرية وتكنولوجيا تعزيز القدرات»[293]. وكما موقف المؤمنين بنظرية اليوجِنيكا واغلب الأديان التي سبقتها، تتصوّر حركة ما بعد الإنسانية العالم، حيث يتجاوز البشر حدود قدراتهم البايولوجية الحالية. وفي الوقت الذي كان فيه *فردِرِك نيچه* يتصوّر الإنسان الخارق والتصرّفات الشريرة، التي سَيُقدِم عليها[294]، فإنّ المؤمنين بنظرية ما بعد الإنسانية واتباعهم، تصوّروا أنّ الذكاء الخارق الذي يجمع ما بين قدرات البشر وإمكانات الآلة يمكن مزجهما في نسيج لا تراه العين من أجل تحقيق ثورة تطوّرية. غير أنّ هذا الأفكار يمكن أن تكون مخيفة وجذابة بشكل محيّر في ذات الوقت.

إنّ تاريخ الإنسانية بكامله قد جرى وصمه بصراعنا الملحّ لزيادة فرصنا للبقاء عن طريق تأمين التغذية الجيّدة وحماية انفسنا من تقلبات المناخ والكوارث الطبيعية والاستمرار في الإنجاب. ومع كلّ ثلاث خطوات تحركنا فيها إلى الأمام، فقد عدنا بمقدار خطوتين إلى الوراء للتعلم من تجارب الحياة بسبب خنوعنا إلى اضمحلال قدراتنا العقلية بسبب الشيخوخة ومن ثمّ الموت. إذا كانت تكنولوجيا الجينات تساعد في بقائنا احياء لفترة أطول ونعيش حياة صحيّة جيّدة ونغرف المزيد من المعرفة والأداء بشكل أفضل وحتى تحقيق الشعور بقدرتنا على مقاومة بايولوجيتنا، فإنّ الإنجذاب لاستعمال هذه التكنولوجيا سيثبت عدم قدرتنا جميعا على مقاومة إغوائها.

لكنّ الترابط الفكري بين حركتي اليوجِنيكا وما بعد الإنسانية يبرز أمامنا كإشارة تحذير. إنّ القول بأنّنا ربّما يجب أن نفعل شيئًا، لا يعني أنّه لا توجد هناك حدود وضوابط. فحتّى أكثر المجتمعات لِبرالية لديها قوانين تنظم ماذا يمكن للمواطن فعله وما لا يمكن أن يُقدِم عليه حتى في حياته الخاصة، وأبعد من ذلك. إنّ مستقبل هندسة الجينات وفي طرق شتى هو مستقبل البشرية. وإذا أردنا لمستقبلنا الإزدهار فيجب أن نتمسّك بها. ولكي ننقذ انفسنا ممّا سنقترفه من مخاطر، يجب أن تخضع هذه الهندسة لنظام صارم.

وعلى أيّة حال فإنّ التحدّي الذي يواجهنا اليوم هو أنّ العلوم تتقدّم بشكل متسارع وأنّ التفهّم العام لها يتقدّم ببطء شديد. يحتاج البناء التنظيمي أن يجد التوازن الصحيح بين تقدّم العلوم والمعوّقات الأخلاقية، التي تتقدم هي الأخرى بشكل بطيء. يحدث هذا في عالم تزداد فيه الفجوات اتساعا بسبب الخلافات الحضارية والثقافية للمجتمعات والأمم، وبدفع من مستويات التنافس العالي والقويّ بين ميادين العلوم ذاتها وفي داخل كلّ منها. وهو الأمر الذي يجعل من الصعوبة بمكان أن تجد أرضية مشتركة.

الفصل التاسع
مكوّناتنا العديدة المختلفة

إنّنا كبشر لسنا مختلفين من ناحية الجينات فقط. إنّنا مختلفون أيضًا حضاريا وثقافيا. وهذا هو ما يجعل عالمنا مثيرا جدّا وعلاقاتنا مجزية للغاية.

تشكّل الاختلافات في الرأي والسلوك مكسبا كبيرا للأجناس البشرية، لكنّها تأتي أحيانا بثمن باهض. حين نقترب من مجموعة من القضايا المتعلقة، بطريقة أو بأخرى، بمستقبل هندسة الجينات وأيضا كيف نتعامل مع البيئة وكيف نزرع المحاصيل التي نتغذى عليها وحين نفكّر بنشأة الحياة وكيف بدأت، فإنّنا نقف على مسافات متباعدة. وحين تصبح الاختلافات بشأن هذه القضايا حادة، فإنّنا نبدأ بالمناقشة ونتنافس سياسيّا ليكون لنا الكأس المعلّى ونتقاتل أحيانا من أجل إثبات إنّنا على صواب. إنّ التمعّن في كيفية معالجتنا لتلك الخلافات سابقا، خاصّة ما تعلق منها بهندسة الجينات البشرية، فإنّها أعطتنا إشارات إلى ما سنتوقع حصوله ونحن نتابع الدور الذي ستلعبه الثورة الجينية، وتحذيرات عن الصعوبة في إمكانية تحديد مسار عام نتفق عليه للمضي قُدُما.

تتضمن هندسة الجينات تغيير الطبيعة بطرق ما خطرت ببال أسلافنا من قبل. إنّهم الأسلاف الذين قطعوا المحيطات وزحفوا على الأرض وتسلقوا الأشجار واتخذوها سكنا، وما كانت لديهم القدرة على تعطيل البيئة أو مقاطعتها. كنّا فقط واحدًا من الكائنات التي تكافح من أجل البقاء في عالم خطير ومعاد من حولها، نواجه نوبات من المجاعة وتفتك بنا الأمراض دون وازع وتترصّد بنا الحيوانات المفترسة.

ولكن وبالسرعة الممكنة، بدأ البشر يصارعون تقلبات الطبيعة، بدأنا نعدّ اسلحة لقتل الحيوانات وقتل بعضنا بعضا كامل تطلّب موقف ذلك. بدأنا نتعلم زراعة المحاصيل لتأمين الغذاءوحتى عرفنا بعض الإعشاب التي يمكن استعمالها كأدوية ضدّ مصائب الطبيعة. كانت بعض المجموعات البشرية أكثر جرأة لسبك العالم وفق حاجاتها.

وحتى مجتمعات الصيد التي وضعت لنفسها تقاليد للتراجع أمام القوى الطبيعية من حولها، كانت مسؤولة إلى حدّ كبير عن الإنقراض الجماعي لبعض الكائنات. بعد أن عبر أسلاف الهنود الأمريكيين الأصليين مضائق بحر بَرِنك Bering قبل 13 ألف عامًا قادمين من شرق آسيا، فإنّ عددا كبيرا من حيوانات العالم الجديد انقرضت بسرعة[295]. شملت هذه المامُث والماستُدرَن والذئاب الرهيبة والقنادُس العملاقة والكامِلوپْز. كما حلّ الخراب في البيئات الطبيعية حين وصل الإنسان إلى جزر هوائي ونوزيلاندا وجزيرة إيستر، وغيرها من الأماكن الأخرى.

استخدم رجال الدين الغربيين في ذلك الوقت كتاب العهد القديم لتبرير سيطرة الإنسان على الطبيعة. قال الربّ، «نعمل الإنسان على صورتنا كشبهنا، فيتسلطن على سمك البحر وعلى طير السماء وعلى البهائم وعلى كلّ الأرض وعلى جميع الدبّابات، التي تدبّ على الأرض»[296]. سفر التكوين 26:1. وبعد اللجوء إلى فلسفة السيطرة لتبرير قهر العالم الطبيعي وتدمير بيئات العيش في اوطانها، شرعت المجتمعات الأوروبيّة في تسخير طاقاتها وقدراتها العلمية والصناعيّة للاستعمار الوحشي والاستغلال الجشع لبقية أنحاء العالم. إلّا أنّ النصف الثاني من القرن العشرين شهد تحولا في مشاعر الأوروپييّن، فأصبحوا في طليعة العالم للدعوة إلى المحافظة على البيئة وأبطالا للجهود العالمية لإبطاء التغيّرات المناخية.

قام المستوطنون الأوروپيّون في الولايات المتحدة بقطع اشجار مساحات شاسعة من الغابات وتدمير الأنظمة البيئية في العديد من المناطق من أجل إعداد الحقول والمزارع وقتل حيوان البايسُن إلى حدّ الإنقراض تقريبا. غير أنّ بعض من آمنوا بضرورة المحافظة على البيئة مثل جون مِوَر، قد شجّع الرئيس *تدي روزفلت* على تخصيص مناطق من الأراضي التي تمتلكها الحكومة كمناطق محميات طبيعية ومتنزّهات لأوّل مرّة في تاريخ أمريكا، وشكّل بذلك طليعة للوعي البيئي. وخلال 3 سنوات امتدت ما بين الأعوام 1969- 1971 أعلِن عن قيام منظمات عديدة مثل أصدقاء الأرض

ومجلس الدفاع عن المصادر الطبيعية وجماعة السلام الأخضر والوكالة الحكومية لحماية البيئة EPA. تشكّلت هذه المنظمات جميعا بمناسبة **يوم الأرض**[297].

كما مرّت الصين باشكال متباينة من المفاهيم الشعبية والحكومية حول الطبيعة. فمثلا تشمل ثقافة البلد دعوة صريحة للإنسجام بين البشر والطبيعة. فالوحدة بين الإنسان والطبيعة tian ten he yi شعار هام أكّدته كافة المدارس الفكرية القديمة الرئيسية في الصين، خاصّة الكونفوشيّة والتاويّة. كتب الفيلسوف مِنگنزي في القرن الرابع قبل الميلاد فقال، «إذا لم يُسمح باستعمال شباك الصيد في البحيرات والأنهار، سيكون عدد الأسماك والسلاحف أكثر ممّا نستهلكه. وإذا لم يُسمح باستعمال الفؤوس والمناجل في التلال والغابات في الأوقات المناسبة، فإنّ كميات الحطب ستكون أكثر ممّا نحتاج أن نوقده»[298]. كما ورد ذكر لمفهوم التوازن في الحضارات الأخرى، لكنّه لم يتمّ الالتزام به.

بعد أن أحكم *ماو* والحزب الشيوعي قبضته على الصين عام 1949 إنقلبت تلك المفاهيم الفلسفية التقليدية رأسا على عقب، من أجل التسريع بتحديث الصين. وضع *ماو* خطة كبرى لتحقيق قفزة نوعيّة عام 1958. ولغرض زيادة الإنتاج الزراعي لإسناد جهود التصنيع، تمّ تأسيس كومونات للفلاحين والمزارعين، وطُلب منهم أن يبذروا حبوب المحاصيل الزراعية بمقدار 10 مرّات أكثر ممّا كانوا يفعلونه في السابق. تلفت غالبية المحاصيل بسبب كثافة الزرع وأتت العصافير على ما تبقّى منها. طُلِب من الأولاد الصغار أن يفتشوا الحقول بحثا عن اعشاش العصافير ويخربوها، وطُلِب من الكبار ضرب القدور والمقالي لإحداث ضوضاء كي تفرّ العصافير وتسقط ميتة بسبب العناء. وبعد أن تمّ قتل الملايين من هذه العصافير، زحفت الحشرات لتأكل ما تبقّى من المحاصيل الزراعية. وحتى في ظلّ تلك الظروف، طُلِب من الفلاحين بناء الأفران لإذابة المعادن لكي يمكن استخدامها في تسريع عملية التصنيع، وأدّى ذلك إلى قطع اشجار الغابات من أجل الحصول على حطب لإيقاده في تلك الأفران عديمة الجدوى. ثمّ جاء الجفاف وكانت الصين غير مستعدّة له. ويُقدّر أنّه بين السنوات 1958 لغاية 1962 حلّت المجاعة في البلد وقضت على حياة ما يقرب من 45 مليون مواطنا راحوا ضحية لسياسة *ماو*[299].

لم يتوقف تخريب البيئة بعد موت *ماو*، وحتى بعد أن بدأت البلاد تنفيذ خطط صناعية ذكية جديدة في عهد الرئيس *دِنگ چاوپِنگ*. فُتِح الاقتصاد الصيني وعُبّد الطريق نحو النمو السريع لاقتصاد البلد. اعتمد الرئيس على المهندسين وبدأت قيادة الحزب اليوعي الصيني تتصرّف وكأنّ

الحياة يجب أن تخضع للهندسة. بدأوا أوّلا بتبنّي سياسة الطفل الواحد للحدّ من النمو السكاني وهندسته. ثمّ بدأوا العمل في مشاريع كبرى ثمّ السدّ الثلاثي وتحويل مجرى المياه لتنساب من الجنوب إلى الشمال بقصد هندسة البيئة واتباع سياسة لتوجيه النمو دون الإلتفات إلى مشكلة التلوّث البيئي أو السلامة أو حقوق العمال. أصبحت الصين حينها في طليعة بلدان العالم من حيث سرعة نمو اقتصادها تاريخيا على مدى 4 حقب متتالية.

كانت فلسفة النمو، بغض النظر عن تلوّث البيئة، قد حوّلت مساحات واسعة من الأراضي الزراعية إلى مناطق غير صالحة لإنتاج أيّة محصولات[300]. وبسبب خوف السلطة من قيام ثورة من قبل الطبقة الوسطى الجديدة بسبب تلوّث هواء الصين وتسمّم مياهها وبالتالي محاصيلها الزراعية الغذائية، عمدت القيادة الصينية الجديدة برئآسة شي جِنپِنگ إلى اعتماد تنظيف البيئة باعتبارها من أولويات سياسات البلاد.

إنّ أساليب اللف والدوران، التي تتبعها الحكومة بصدد تلوّث البيئة وأساليب حمايتها، جعلت من الواضح ضرورة الإلتزام بسياسات تقودنا إلى ممارسة أفضل في مسألة تغيير انفسنا من الناحية الجينيّة. لكنّ هذه الممارسات لن تكون متماثلة وستختلف من مجتمع إلى مجتمع آخر.

وفي لبّ هذه القضية، سيكون النقاش حول هندسة الجينات البشرية، والى أيّ مدى سنذهب باعتبارنا بشرًا، نتألف من مجموعات بشرية متباينة ولنا وجهات نظر مختلفة للغاية حول مسألة التغيير البايولوجي ومقداره وما تسمح به عملية التطوّر. إنّ هذه النظرات الفلسفية المتميّزة حول علاقتنا بالطبيعة، ستلعب أدوار متنوعة في كافة المجتمعات المختلفة وستطرح نقاشات مثيرة للجدال حول نتائج الجينات المعدّلة، البشرية منها وغير البشرية.

* * *

اهتمّ أسلافنا بتكاثر النباتات وبأنسالها قبل ظهور گرِگوري *مُندَل*، الذي اهتم بطرق نقل الصفات الوراثية لأجيال عديدة من نبات البازلاء. إنّ معرفة قواعد علم الوراثة هي التي جعلت الباحثين يقومون بأداء أفضل في إكثار أنواع عديدة من الكائنات الحية. وبزيادة معرفتهم بتلك الجينات، استطاع العلماء أن يذهبوا خطوة أبعد بنقل المواد الجينية من كائن إلى كائن آخر.

في عام 1973 استطاع أحد خريجي الكلية الطبيّة في جامعة ستانفرد، واسمه *ستانلي كَوِن* وأستاذه هِربَرت بويَر نقل جين يزيد من قدرة مقاومة المضادات الحيوية من سلالة من البكتريا إلى سلالة أخرى تفتقر إلى مثل هذه المقاومة. حين أصبحت هذه لها القدرة على المقاومة، وُلِد عصر الكائنات ذات الجينات المعدّلة GMOs [301]. فنباتات وحيوانات الجيمو وغيرها من الكائنات، التي تمّ تغييرها من قبل الإنسان وتحوّلت إلى كائنات لا يمكن لها أن تكون بتلك الميزات الوراثية في حالها الطبيعي، خاصّة في نقل الجينات من كائن آخر.

وبعد ذلك بقليل استطاع متخصص في علم الميكروبايولجي يعمل في شركة جنرَل إلكترِك في قسم هندسة جينات البكتريا، خلق نوع منها يستطيع تحليل مكوّنات النفط، بغية الاستفادة منه في حالات تسرب النفط oil spills على سطح الأرض أو في مياه المحيطات. تقدّمت الشركة بطلب لتسجيل حق الاختراع باسمها، لكنّ الطلب رُفض من قبل الحكومة المركزية، لأنّ القوانين لاتسمح بتسجيل اختراع كائنات جديدة. رفعت الشركة القضية إلى المحكمة العليا، التي صدمت العالم بقرارها عام 1980، «إنّ خلق الكائنات الصغيرة من قبل الإنسان يمكن اعتباره حقا ممتلكا للشخص أو الجهة المعنية، يجب عدم تجاوزه»[302]. إذا كانت الحياة الجديدة تُعتبر ملكا، فقد فتح هذا القرار الباب لسباق من نوع جديد.

سارعت شركات جديدة مثل جينتَك وأمجين في الظهور، ولفّت الحيرة الآخرين بالخوف من المخاطر المحتملة الناجمة عمّا يُسمّي الآن «الحمض النووي المؤتلف» Recombinant DNA، الذي يعني دمج المواد الجينيّة لعدد من الكائنات لخلق تسلسل جيني جديد لا وجود له في الطبيعة. طلبت مجموعة متميّزة من العلماء من مدير معاهد الصحة الوطنية في البلاد أن يؤلف لجنة لتقييم المخاطر البايولوجية والبيئية، التي تشكّلها التكنولوجيا وطرق منع انتشار النتائج الجانبية غير المتوقعة عند دمج جزيئات الحمض النووي المؤتلفة عند البشر والحيوان والنبات[303]. في عام 1975 اجتمع عدد من العلماء الأمريكيين وخبراء في علم الأخلاق والمحامين والمسؤولين الحكوميين في **مؤتمر أسيلمور** في منطقة پِسِفِك گرَوف بولاية كاليفورنيا لاقتراح أسس لاستعمال حالات الحمض النووي المؤتلف المسموح بها وغير المسموح بها[304]. كان وضع هذه الأسس أمرا ضروريّا بسبب ازدياد استخدام تقنيات الجيمو GMO.

أقرّت منظمة الأغذية والعقاقير الطبية عام 1982 بيع مادة الأنسولين المستخلصة من بكتريا معدّلة الجينات لمعالجة المصابين بداء السكّري. وبعد عامين أقرّت وزارة الزراعة بيع طماطة من

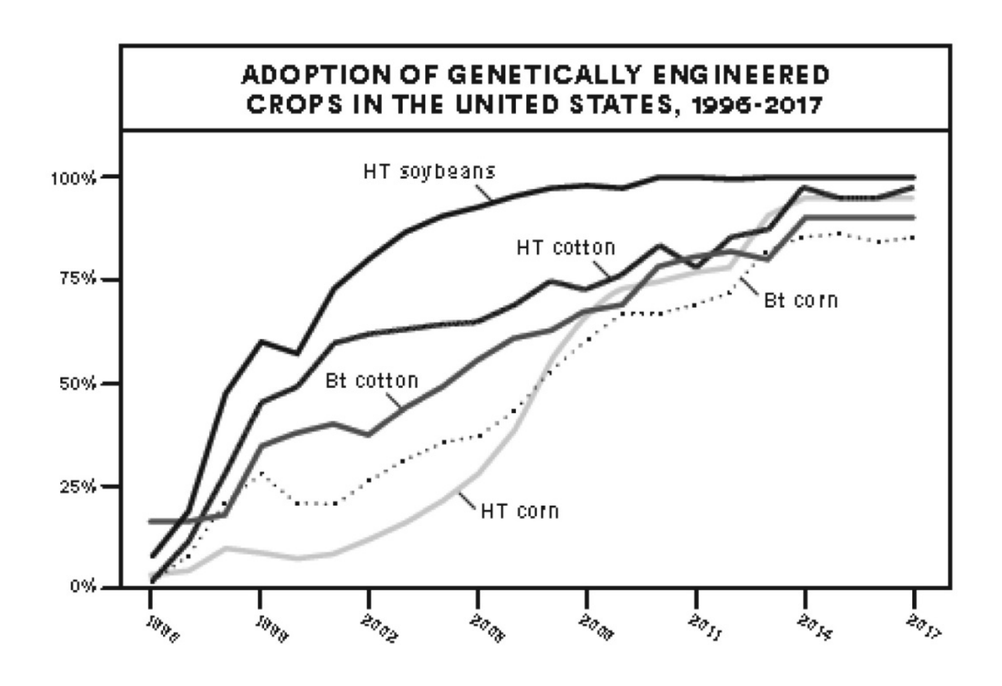
نوع Calgener’s Flavt Savr المعدّلة وراثيا والتي تنضج ببطء وتستمر مطروحة في الأسواق مدة طويلة قبل أن تتلف. في السنوات التالية، توسّع سوق البذور محسّنة الجينات كثيرا واخذت الشركات الكبيرة المهمة على عاتقها، وفي طليعتها باير ودَاو ودوپونت ومونسانتو وسِنجَنِتا. بحدود عام 2000، أصبحت بذور كافة محاصيل الذرة وفول الصويا والقطن تقريبا، من التي تُزرع في الولايات المتحدة، بذورا معدّلة الجينات.

إنّ ارتفاع مستويات قبول زرع بذور المحاصيل المعدّلة وراثيا قد أدّى إلى انتشار استعمالها لزيادة المردود وارتفاع مداخيل المزارعين وانحسار الحاجة إلى استعمال المُبيدات الكيمياوية لمقاومة الحشرات. وزّعت **مؤسسة پَو** لجمع البيانات استفتاءات للفترة الممتدة بين الأعوام 1999 لغاية 2003، فأشارت النتائج إلى أنّ غالبية الأمريكيين يعرفون القليل عن بذور المحاصيل المعدّلة وراثيا، وأنّ حوالى الثلث منهم كانوا قلقين بشأن استهلاكها، وذكر حوالى خمس من تمّ استطلاع رأيهم بأنّ استعمال محاصيل تلك البذور لا يشكّل خطرا على صحة الإنسان[305]. بحلول عام 2016، ما زالت أغلبية الأمريكيين تجهل قضية المحاصيل معدّلة الجينات. عبّر ثلث من استُطلِعَت آرائهم عن القلق بشأن الموضوع وذكر 58% أنّ محاصيل الجيمو مساوية أو أفضل لصحة الأفراد الذين يأكلونها مقارنة بالمحاصيل غير المعدّلة[306]. كما ذكر تقرير نُشِر عام 2016 أنّ أكثر من ثلثي متسوقي البقالة ليسوا على استعداد لدفع اسعار إضافية للمحاصيل والفواكه غير معدّلة الجينات. كما تنبأوا أنّ «زيادة اسعار المواد الغذائية غير المعدّلة، سيؤدّي إلى اقبال المستهلكين على شراء المواد الغذائية معدّلة الجينات»[307].

كما تبنّت الصين استخدام بذور المحاصيل المعدّلة وراثيا. نظرا لأنّ 9% فقط من أراضيها صالحة للزراعة مقارنة بدول العالم الأخرى في حين أنّ سكانها يمثلون 20% من مجموع سكان العالم، فإنّ البلد دائمًا في حالة غير مضمونة بتوفر الغذاء للسكان. رأت الحكومة الصينية، أنّ البذور المعدّلة جينيّا أمر مرغوب فيه طيلة الوقت لزيادة مردود المحاصيل في الحقول الصغيرة، خاصة التي يُزرع فيها القطن الذي تحتاجه البلاد لصناعة الأنسجة، وكذلك المحاصيل لتغذية السكان والأعداد الهائلة من الماشية. تستورد الصين ما يقرب من 60% من الإنتاج العالمي لمحصول فول الصويا، وكافة بذور هذا المحصول معدّلة جينيّا.

إثر إدراكها للأهمية الكبرى لمحاصيل الجيمو وغيرها من التكنولوجيا الزراعية للمستقبل،عمدت الحكومة الصينية إلى تصنيف «الزراعة المحسنّة» باعتبارها هدفا ستراتيجيّا للخطة الخمسية الأولى للبلد[308]. «يجب على الصين أن تزيد البحوث والابتكارات التي تتعلق بتكنولوجيا الجيمو»، حسب ما ورد على لسان الرئيس الصيني شي جِنپِنگ في عام 2013. ثمّ أضاف القول، «يجب ألّا نترك المجال مفتوحا أمام الشركات الاحتكارية لتسيطر على أسواق الجيمو[309]. دفعت الحكومة ما يقارب من 43 بليون دولارًا عام 2017 وكانت بحماس وراء الجهود لشراء الشركة السويسريّة العالمية **سِنجِنتا**، التي تُعدّ في طليعة الشركات الزراعية البايوتكنولوجية. أصبحت هذه الشركة ملكا للحكومة الصينية واتخذت اسم **كَمِچاينا**.

رغم أنّ مخاوف الرأي العام الصيني قد ازدادت بسبب الفضائح المتعلقة بتأمين المواد الغذائية للبلد[310]، أشارت استطلاعات الرأي العام أنّ غالبية المستهلكين الصينيين، حالهم حال المستهلكين الأمريكيين، وخلافا لواقع الحال في أورو پا، يُقبلون بشكل عام على استهلاك المواد الغذائية المعدّلة جينيًّا[311]، كما يظهرها الشكل البياني على الصفحة التالية، والذي يظهر مدى الإقبال واستهلاك محاصيل القطن وفول الصويا والذرة في الولايات المتحدة بين الأعوام 1999 لغاية 2017.



Source: Chart reference: "Recent Trends in GE Adoption," USDA Economic Research Service, last updated July 12, 2017, https://www.ers.usda.gov/data-products/adoption-of-genetically-engineered-crops-in-the-us/recent-trends-in-ge-adoption.aspx.

إنّ زيادة الإقبال على محاصيل الجيمو في الولايات المتحدة والصين لا تقوم فقط على جهل المستهلكين، بل لأنّها تستند إلى العلم. كلّما ازداد الاعتماد على محاصيل الجيمو وطلبها في الأسواق، كلما توفّرت للباحثين بيانات واسعة ليكون بمقدورهم تقييم مسائل السلامة. أظهرت الدراسات التي أجريت حقبة إثر حقبة أنّ محاصيل الجيمو صالحة للاستهلاك البشري مقارنة بالمحاصيل المعروفة غير المعدّلة. في بيان صدر عام 2012 عن مجلس إدارة اتحادات تقدّم العلوم AAAS، ورد فيه، «إنّ تحسين المحاصيل باستعمال التقنيات الجزيئية الحديثة في البايوتكنولوجي مسألة آمنة»[312]. كما أنّ مراجعة الأدبيات المنشورة عام 2013 في **مجلة الزراعة وصناعة الغذاء الكيمياوية** أشارت الى، «أدلة ساحقة بأنّ محاصيل الجينو أقلّ خطرا عند تكوين المحاصيل ونموّها مقارنة بالمحاصيل التقليدية، التي تتمتع بتاريخ طويل من الثقة بسلامة استخدامها»[313]. كما استند تقرير الاتحاد الأوروپي لعام 2020[314] إلى دراسات اجرتها منظمة الصحة العالمية[315] واتحاد الأطباء الأمريكيين[316] وأكاديمية العلوم الأمريكية[317] والجمعية الملكية البريطانية[318] وغيرها من المنظمات المحترمة حول العالم، والتي توصّلت إلى نفس الاستنتاجات.

إذا كان ذلك غير كاف بأنّ محاصيل الجيمو صالحة للاستهلاك البشري، فإنّ الأكاديمية الأمريكية الوطنية للعلوم والهندسة والطب، نشرت عام 2016 مراجعة شاملة لعلوم الجيمو، وشمل

هذا التقييم المفصّل مراجعة دراسات الجيمو الموثوق بها حول العالم، وبعد التشاور مع مئات الخبراء المتميّزين في هذا الميدان إضافة إلى استلامها تعليقات من أكثر من 700 شخصًا ومنظمة من المهتمّين بالأمر. واعتمادًا على كلّ ما ورد بشأن الأمر من مختلف مناطق العالم حول مراجعة محاصيل الجيمو، فإنّ تقرير الأكاديميات الوطنية وجد أنّهُ، «ليس هناك أدلة لعلاقة السبب والنتيجة بين محاصيل الجيمو والمشاكل البيئية» و«لا أدلة عن زيادة مشاكل صحيّة معينة عند البشر نتيجة تناول أغذية المحاصيل المعدّلة». علمًا بأنّ التقرير المذكور قد اعترف بمخاطر المبيدات المقاومة لنمو الأعشاب البرية، وغيرها من التحدّيات الأخرى. المغزى العام الذي خرج به التقرير واضح، وهو أنّ المحاصيل المعدّلة وراثيا صالحة للاستهلاك البشري، حالها حال المحاصيل غير المعدّلة[319].

ذهبت دراسة إيطالية نُشِرت في شهر فبراير من عام 2018 خطوة أبعد من ذلك، فراجعت دراسات جرت على مدى أكثر من 30 عامًا في مختلف مناطق العالم. توصّل معدّو هذه الدراسة إلى أنّ التعديل الوراثي في الحقيقة يزيد من وفرة الإنتاج ويخفّض نسبة السموم المسبّبة للسرطان carcinogenic في محصول الذرة[320]. وعليه فإنّ بذور الذرة المحسّنة ليست فقط صالحة للاستعمال البشري، بل إنّ فوائدها الصحية بالنسبة لنا أكثر من بذور الذرة غير المعدّلة.

حين نقول إنّ بذور محاصيل الجيمو لا تشكّل خطرًا على صحة البشر، فذلك لا يعني عدم وجود مخاوف مشروعة. إذا اعتمدنا على صنف معيّن فقط أو إذا سمحنا للشركات أن تحتكره، كما تحتكر غيره من مصادر ومواد تغذيتنا، فلربّما سيؤدي ذلك إلى ظهور آفات زراعية جديدة مقاومة للمضادات، وسنكون حينها في وضع صعب جدّا لا نُحسد عليه. الجيمو أداة لها منافع هائلة، لكنّها في ذات الوقت قد تأتي بمشاكل يصعب التفكير بها مسبقا، ويجب الاستعداد لها على الدوام.

رغم أنّ العديد من الدراسات العلمية تشيد بفضائل الجيمو، فهناك مخاوف بولغ فيها في مناطق عدة من العالم. فمثلا، نشر المهتمّون بقضايا البيئة عام 1990 تقريرا عنوانه «حصاد البايوتكنولوجي المُرّ» BBH، أدانوا فيه سرعة انتشار النباتات المعدّلة جينيًّا وطالبوا الحكومة الأمريكية بقطع مساعداتها لهذه التكنولوجيا[321]. ومنذ ذلك الحين، قام الناشطون المعادون للجيمو مدفوعين بمزيج من عدم الثقة بالتكنولوجيا الحديثة وبشركات الاحتكار العالمية والأمريكية وبالسوق الرأسمالية بشكل عام، مضافًا إليها شحنة من الرومانسية حول الفلاحين وحياتهم وحقولهم الصغيرة،

ممزوجة بالمخاوف من أنّ مصادر غذائنا ستصبح عرضة للتلوّث، زادت هذه العوامل جميعا من مخاوف الناس فبدأوا يطلقون على منتجات الجيمو اسم غذاء فرانكشتاين.

شنّت المنظمات المعادية للجيمو حملات إعلامية مضللة خُصّصت لإسكات اصوات الجمعيات العلمية ومعارضتها. وبطبيعة الحال، عامة الناس مستعدّون لهكذا نوع من الإعلام المشوّه، خاصّة تحت شعار «مغالطة الطبيعة»، وبأنّ ما هو من نِتاج الطبيعة طبيعي وسواه غير ذلك، رغم أنّ أجدادنا قد عملوا على تعديل الكثير من منتجات هذه الطبيعة على مدى آلاف السنين. في الحقيقة أنّ الأرباح الهائلة، التي جنتها شركات مثل مونسانتو من هذه الصناعة المزدهرة، قد اعطى خصوم الجيمو الحجّة والتحفيز المتجدد لدفع الأصوات المعارضة ضدّ الجيمو أكثر فأكثر[322].

برز النشاط المعادي للجيمو في أوروبا أكثر من أيّ مكان آخر. في عام 2016 أشار 84% من مجموع السكان الأوروبيين أنّهم سمعوا عن غذاء المحاصيل النباتية المعدّلة وراثيا، وأنّ 70% توصلوا إلى أنّ تغذية الجيمو «غير طبيعية في الأساس». اعتقد 61% منهم أنّ تطوير محاصيل الجيمو يجب أن يوضع لها حدّ، وذكر 59% أنّ غذاء الجيمو غير مناسب لاستهلاك البشر[323].

إرتفع ضجيج هذه الأصوات فاضطرت الجهات المُشرفة على التغذية أن تستمع. فمثلا، العلماء البلجيك، الذين كانوا في طليعة الروّاد في هندسة الجينات الحديثة في الثمانينات، عادوا بعد حقبة من الزمن ليتفقوا مع المراقبين الصّحيين على وضع ملصقات على الأطعمة للتمييز بين المعدّلة وغير المعدّلة وراثيا. رغم أنّ وضع هذا الملصقات يبدو للوهلة الأولى فكرة جيّدة لكنّها فكرة ملغومة بالغِشّ والخداع. السبب هو أنّ الإنزيمات في الغذاء، الذي نتناوله والمحاصيل التي نغذي بها ماشيتنا، في الحقيقة معدّلة جينيّا. وإذا وافقنا على وضع الملصقات للتمييز، فذلك يعني وضعها على غالبية المواد الغذائية، التي نشتريها من الأسواق.

بالرغم من الفوائد العديدة المتوقعة من محاصيل الجيمو، فإنّ المنظمات المعادية لها مثل گرينپيس وجبهة تحرير الأرض، وغيرهما قد حشدت الاعتراضات على البحوث العلمية وشكّكت في نتائجها وتسللت وخرّبت الموجود من المحاصيل التي تجرى عليها التجارب في المختبرات ومعاهد العلوم حول العالم[324]. فمثلًا، اعترفت منظمة گرينپيس في أستراليا بأنّ اعضائها تسللوا إلى أحد مختبرات الفحص والتجريب ودمّروا كافة نبتات الحنطة المعدّلة وراثيًا. في عام 2013، قام

أعضاء نفس المنظمة بنشاط مماثل فقلعوا نبتات الرّز المحسّن في الحقول التجريبية العائدة إلى معهد بحوث الرزّ في الفِلِبين[325].



Source: Anti-GMO protesters in France

تظاهرة معادية للجيمو في فرنسا

حين ازدادت الضغوط على **الاتحاد الأوروبي** أدرك قادة البلدان هناك وجود صدام بين الرأي العام من جهة والتنافس بين العلوم والاقتصاد من جهة أخرى. وهو الأمر الذي خلق موقفا لا يمكن الدفاع عنه. وفي خطوة للهروب من ضغوط الرأي العام، اتفق وزراء البيئة عام 2013 على أنّ البلدان الأعضاء في الاتحاد، يمكن لها أن تقرّر منفردة إنْ كانت تودّ وضع قيود على منتجات الجيمو أم لا، لأيّ سبب من الأسباب. كان ذلك استجابة للرأي العام أكثر منه استجابة للعلوم، فكانت النتيجة أنّ 17 بلدًا أوروبيًّا، قرّرت أن تمنع زراعة محاصيل الجيمو اعتبارًا من عام 2015.

ذكر *مارك لِناس*، الذي كان معارضا للجيمو وأصبح فيما بعد من أشد انصارها، ما يلي:

> *في الحقيقة أنّ القارة تغلق ورشة كاملة لأحد حقول العلوم الإنسانية والمحاولات التكنولوجية. يشبه هذا ما جرى في أمريكا من مقاطعة للسيارات عام 1910، أو منع الصحف العلمية المطبوعة في القرن الخامس عشر*[326].

أعلن المجلس الاستشاري للأكاديميات العلمية الأوروپيّة، أنّ قرار الاتحاد الأوروپيّ يتخلف عن المتنافسين العالميين في الاختراعات الزراعية، «التي ستكون لها آثار على الأهداف في العلوم والاختراعات وعلى البيئة وعلى الزراعة ذاتها»[327]. لقد جاء القرار متأخرا للغاية لأنّ قطار الجيمو قد غادر المحطة منذ بعض الوقت.

قابلت في برلين عام 2015 عددا من المشرفين الألمان المناط بهم تطبيق تعليمات الحكومة الصارمة حول منع زراعة بذور الجيمو المحسّنة. أخبرني كلّ واحد منهم عن اعتقاده بأنّ التقييدات بلهاء سخيفة لا تقوم على أسس علمية ولها نتائج مضادة. أخبروني أنّ المطلوب منهم تنفيذ تقييدات ضدّ الجيمو تتناقض مع ما يعتقدونه أصلا، ولأنّ الرأي العام قد أجبر القادة الألمان والقادة السياسيين الأوروپيين جميعا على فعل ذلك[328]. وصف بعضهم كيف أنّ منظمة گرينپيس، التي تأتي في طليعة المعارضين للجيمو، يُزعم أنّها ضغطت بقوة على عدم وضع الملصقات حول الإنزيمات المعدّلة جينيّا والمستعملة في صناعة الأجبان والنبيذ والبيرة، بسبب الخوف من معرفة الناس باعتماد هذه الصناعات على الجيمو في منتجاتها، فإنّ الحملة ضد الجيمو ستتهاوى وينقلب السحر على الساحر[329]. حتى التقنيات الجديدة مثل **كرسپَر**، التي جعلت من الممكن تفعيل الجينات أو ايقافها في المحاصيل من أجل تغيير صفاتها، لا يمكن قول الحقيقة عنها بأنّها ليست تعديلا جينيّا. ومع ذلك استمرت جهود گرينپيس والمنظمات الأخرى المعادية في تحشيد الرأي العام ضدّ ذلك أيضًا[330].

في عام 2016 وجّه 109 شخصًا من الحائزين على جائزة نوبل نداء مفتوحًا لمنظمة گرينپيس بأن توقف حملتها ضدّ الجيمو. «نحثّ منظمة گرينپيس وأنصارها على:

> *أن يعيدوا النظر في تجربة الفلاحين والمستهلكين حول العالم، وكيف تحسّنت نوعية الأطعمة بفعل البايوتكنولوجي، وأن يعترفوا بنتائج جهود المؤسسات العلمية والجهات المنظمة وأن يتخلوا عن حملتهم ضدّ الجيمو بشكل عام، وبشكل خاص في موضوع «الرّز الذهبي». إنّ الوكالات العلمية والتنظيمية حول العالم قد ردّدت بشكل مستمرّ أنّ المحاصيل الغذائية والأطعمة قد تحسّنت بفعل استخدام البايوتكنولوجي، وأنّ هذه الأغذية صالحة للاستهلاك البشري، حالها حال المنتجات الغذائية الأخرى. لا توجد إطلاقا حالة صحية سلبية بين البشر أو الحيوان نتيجة استهلاك محاصيل الجيمو المعدّلة. إنّ تأثير هذه*

المحاصيل على البيئة قد أثبت أنّه محدود للغاية وأنّها نعمة على التنوع العالمي[331].

رغم هذه النداءات الحماسية على لسان خبراء المجتمع، ظلّ تأثير الحملة المعادية للجيمو ساري المفعول بشدة عالية، خاصّة في أوروپا. حققت هذه الجهود نجاحا باهرا في شهر يوليو من عام 2018 حين قررت المحكمة العليا الأوروپية، وهي محكمة العدل للاتحاد الأوروپي، أنّ جينات المحاصيل المعدلة بواسطة التقنيات الجديدة مثل **كرِسپر** يجب أن تُعامل معاملة محاصيل الجيمو الأخرى وتخضع لنفس التقييدات الصارمة، رغم أنّه لم يتمّ الكشف عن أيّة مواد جينية خارجية قد استعملت في عملية التعديل[332]. «سيكون لهذا القرار تأثير تقشعرّ له الأبدان على البحوث، حاله حال القرار الذي خصّ تشريعات منع استعمال الجيمو قبل 15 عامًا»، حسب ما صرّح به *ستيفِن جِلنسُن*، عالم فيزياء النبات وأستاذ جامعة أوما لمجلة **نَيچَر**.

لقد أدّى منع الجيمو إلى إلحاق الأذى في قدرة اقتصاد القارة على التنافس، لكنّه لم يُخاطر بحياة أيّ من مواطني أوروپا. لكنّنا لا نستطيع إدّعاء ذلك عن أثر هذه السياسات على بلدان العالم النامية. إنّ التقييدات الأوروپية على صادرات زراعية معينة إلى بلدان تزرع محاصيل الجيمو، قد الحقت الأضرار في عدد من البلدان الأفريقية والآسيوية. اعتمدت هذه البلدان على المحاصيل المقاومة للفايروسات في تغذية السكان فحرمتهم المقاطعة من إضافة العناصر الغذائية إلى وجباتهم، بقصد خفض تأثير مواسم الجفاف، التي تقود في العادة إلى موت الآلاف من البشر. كما حُرِمت تلك البلدان من تخفيض الاعتماد على أنواع السماد والمبيدات الكيمياوية للحشرات[333].

كان النقد الحادّ لممارسات منظمة گرينپيس، خاصّة معارضتها لمشاريع «الرز الذهبي»، على لسان عدد من حاملي جائزة نوبل. «منظمة گرينپيس هي رأس الحربة في معارضة مشاريع زراعة الرزّ الذهبي». ثمّ مضوا للقول:

لهذا النوع من الرزّ قدرة على تخفيض أو القضاء على الكثير من حالات الوفاة والأمراض الناجمة عن نقص فايتِمِن A VAD))، التي تصيب في العادة المناطق الفقيرة في أفريقيا وجنوب غربي آسيا. قدّرت منظمة الصحة العالمية أنّ حوالى 250 مليون شخصا يعانون من نقص فايتِمِن A، بينهم 40% من الأطفال دون سنّ 5 سنوات في البلدان النامية. واعتمادًا على احصاءات منظمة اليونِسَف

UNICEF فإنّ ما مجموعه 1-2 مليون حالة وفاة سنويًا راجع إلى نقص فايتمِن A، لأنّ هذا النقص يشلّ المناعة الطبيعية ويعرّض الأطفال لمخاطر الوفاة. إنّ نقص هذا الفايتمِن هو في طليعة الأسباب لوفاة 250 ألفا إلى 500 ألف طفلًا كلّ عام، يموت نصفهم خلال السنة الأولى بعد أن يفقدوا بصرهم. إنّنا نطالب منظمة گرينپيس أن تتوقف وتكفّ حالًا عن حملتها ضدّ الرزّ الذهبي خاصة، إلى جانب المحاصيل الأخرى وليدة البايوتكنولوجي بشكل عام... كم عدد الذين يتوجّب عليهم أن يفقدوا حياتهم قبل أن تنتهي «هذه الجريمة ضدّ الإنسانية؟»[334].

بالرغم من أنّ التقييدات على محاصيل الجيمو بدأت ترخي قبضتها على أفريقيا، فهناك بعض الشكّ أنّ الأوروپيين وأعضاء المنظمات المدنية NGOs، الذين يُذكون المخاوف من الجيمو، قد تسبّبوا وما زالوا في تعطيل زرع هذه المحاصيل في أفريقيا وغيرها من المناطق الأخرى[335]. إنّ استخدام الجينات المعدّلة في زراعة المحاصيل له احتمالات هامة لتحسين مرونة مصادر التغذية واستدامتها، خاصّة في ضوء الاحترار المناخي وزيادة عدد سكان العالم[336]. يجب زيادة الاعتراضات على الحملات المعادية للجيمو، لأنّها تتسبب في إحداث الأضرار وحرمت المناطق الفقيرة من منافع محاصيل الجيمو.

تظهر تجارب زراعة محاصيل الجيمو حدة المناقشات حول التعديلات وكيف يُنظر إليها من قبل مختلف الناس بمناظير مختلفة حسب مفهوم «الطبيعة» في أذهانهم.

يعطينا النقاش حول الجيمو إشارة جيّدة لما يمكن أن نتوقعه حين يكون الكائن المعدّل ليس فول الصويا ولا الذرة، بل نحن البشر. لقد رأينا حساسية الموضوع والانقسامات الفكرية، حين يكون موضوع التناسل البشري هو ما يدور حوله النقاش.

* * *

لقد مارست البشرية مسألة إجهاض الحمل على مدى التاريخ، إذ تشير المصادر إلى أنّ المصريين القدماء قد لجأوا إلى ذلك بحدود 1550 عامًا قبل الميلاد. كما أنّ الإجهاض كان مقبولا لدى الإغريق القدماء والرومان، وأكّد إفلاطون وأرسطو في كتاباتهما عن حق المرأة في الإجهاض.

كما أنّ الصينييّن القدماء وبحدود عام 500 قبل الميلاد قد أشاروا إلى استعمال الزئبق في تنفيذ عمليات اجهاض الأجنة ووضع نهاية للحمل.

في عام 1803 صادق البرلمان البريطاني على قانون يجيز الإجهاض حين يكون قد مضى على الحمل فترة 5 شهور فقط. كان يُعتقد حينها أنّ الروح تدخل جسد الجنين بعد انقضاء تلك المدة، وأنّ من ترتكب الإجهاض بعدها تُعاقب بالإعدام. تغيّرت العقوبة بعد فترة إلى السجن مدى الحياة لكلّ من ترتكب أو تساعد في عملية الإجهاض. بالرغم من أنّ الإجهاض كان شائعا في أمريكا قبل الاستقلال، بدأت التقييدات في الولايات المتحدة تظهر بحلول حقبة خمسينات القرن التاسع عشر 1850s، الأمر الذي اضطر بعض النسوة إلى اللجوء إلى أساليب أكثر خطورة على الحياة، إضافة إلى انخفاض مستوى الخدمات الطبية في حينه، وهو الأمر الذي ادّى إلى وفاة الآلاف من النساء. بالرغم من صدور قانون الإجهاض الجديد في المملكة المتحدة عام 1967 وقرار المحكمة العليا الأمريكية في قضية *رَو* مقابل *وَيد* Roe v. Wade عام 1973، اللذين أقرّا بحقوق المرأة في إجراء الإجهاض في كلي البلدين، لكنّ الموضوع ما زال مثار نقاش وخلاف مُستحكمَين حتى يومنا هذا.

خلال السنوات التي تلت قرار المحكمة العليا المُشار إليه، عمدت الكنيستان الكاثوليكية والإنجيلية المعمدانية على الخصوص، إلى الدعوة لقيام تظاهرات مندّدة بالإجهاض تزايدت شدتها بمرور الزمن واكتسبت طابعا سياسيا بعد مناصرة الحزب الجمهوري الأمريكي لها ووقوفه خلفها. بالرغم من استمرار مفعول قرار المحكمة العليا بتأمين حقّ المرأة في الإجهاض، ظلت هذه الحقوق راسخة في الولايات اللِبرالية مثل كاليفورنيا ونو يورك. خلال 40 عامًا على مضي القرار بشأن *رَو* مقابل *وَيد*، حدث ما يقارب 300 هجوما بما فيه الإحراق المتعمد وتفجير القنابل ضد عيادات الإجهاض، وقتل العديد من الأطباء والممرضات العاملين في تلك العيادات في الولايات المتحدة[337]. أشار الاتحاد الوطني للإجهاض في تقرير له عن وقوع 176 ألف تظاهرة أمام عيادات الإجهاض خلال 40 سنة الماضية، وحدوث أعمال تخريب للعيادات المذكورة و400 حالة من تلقي تهديد بالموت[338]. وبسبب هذه الأساليب المتنوعة من الضغوط وتعديل هايد في الكونگرِس عام 1977، جرى وضع المزيد من التقييدات لغرض حرمان تلك العيادات من تمويل الحكومة المركزية لها. يوجد اليوم ما يقارب 84% من مجموع الأقضية counties في كافة الولايات المتحدة، حيث لا

توجد أيّة خدمات للإجهاض، وأنّ 17 ولاية فقط تتولى تمويل تلك العيادات باعتبارها خدمات تفرضها الضرورة الصحية[339].

أمّا في الصين، فقد منع الحزب الشيوعي بسرعة غالبية حالات الإجهاض حين تسلم السلطة عام 1949، بهدف زيادة عدد السكان. لكنّ القيادة، التي تسلمت السلطة إثر وفاة *ماو* عام 1978 والصراع الذي خاضه زعيمها *دِنگ شاوبِنگ* من أجل تحقيق خططه للإصلاح الاقتصادي، رأت أنّ نموّ الاقتصاد مرهون بإبطاء نمو السكّان. وبناء عليه أقدمت الحكومة على إقرار سياسة الطفل الواحد للأسرة عام 1979. أدّت هذه السياسة إلى أنّ اغلب العائلات الصينية من سلالة الهان Han، خاصّة من يسكن منها في المناطق الحضرية، قد إلتزمت بهذه السياسة. وبناء على ذلك جعلت الحكومة الإجهاض شرعيا عام 1988.

خلال الأربعين سنة التالية والإلتزام بسياسة الطفل الواحد، تمّ فرض الغرامة على أكثر العائلات التي تولد أكثر من طفل، وأجبِرت النسوة الصينيات بأعداد كبيرة على الإجهاض، وفي حالات أخرى على الإعقام الإجباري بدون أيّة موافقة[340]. لا شكّ أنّ سياسة الطفل الواحد قد ازالت وصمة العار stigma، التي تلحق بمَن تُقدِم على الإجهاض. شجع ذلك العديد من الأسر على اجهاض الحمل إذا كان الجنين أنثى، كما تمّ تشجيع عمليات التبني للبنات من قبل منظمات خارج البلد، وكذلك التخلي عن الأطفال الذين يولدون بعاهات بدنية. رغم أنّ سياسة الطفل الواحد قد ألغيت عام 2015، فقد قُدّر أنّها خفّضت مجموع سكان البلد بما يساوي 400 مليون شخصًا[341].

رغم الغاء العمل بقانون الطفل الواحد، استمرّ الرأي العام الصيني على العموم يميل إلى الإجهاض أكثر من نظيره الشعب الأمريكي. وخلافا لما نجده في البلدان الغربية من خلال التقاليد الدينية التقليدية بأنّ حمل الأطفال من خلق الربّ، رأى الصينيّون انفسهم أنّهم سلالة والديهم، وهو أساس تقليدي لتقديس الأجداد. وهذه الفكرة لها جذورها في الفلسفة الكونفوشية حول طاعة الوالدين، وهي مبدأ اساسي تقوم عليه الثقافة الصينية، التي تثمّن عاليًا ولادة أطفال سليمي البُنية لحمل تقاليد العائلة وتراثها. ولحد الآن يوجد قبول واسع لعملية الإجهاض في الصين.

MAJOR RELIGIOUS GROUPS' POSITIONS ON ABORTION			
Opposes abortion rights, with few or no exceptions	Supports abortion rights, with some limits	Supports abortion rights, with few or no limits	No clear position
• African Methodist Episcopal Church • Assembies of God • Roman Catholic Church • Church of Jesus Christ Latter-day Saints • Hinduism • Lutheran Church-Missouri Synod • Southern Baptist Convention	• Episcopal Church • Evangelical Lutheran Church in America • United Methodist Church	• Conservative Judaism • Presbyterian Church (U.S.A.) • Reform Judaism • Unitarian Universalist • United Church of Christ	• Islam • Buddhism • National Baptist Convention • Orthodox Judaism

Source: David Masci, "Where major religious groups stand on abortion," Pew Research Center, June 21, 2016, http://www.pewresearch.org/fact-tank/2016/06/21/where-major-religious-groups-stand-on-abortion/.

هذه الاختلافات الثقافية والدينية والتشريعات القانونية القائمة عليها، قد طرحت مستوى من القبول بخصوص عملية الإجهاض. يُظهر الجدول في أعلاه النتائج التي توصلت إليها **مؤسسة پيو للاستطلاعات** حول المشهد الديني في الولايات المتحدة وموقفه من الإجهاض. قسّمت المؤسسة هذا الموقف إلى 4 مجموعات هي، (1) مجموعة المعارضة التامة للإجهاض و(2) مجموعة القبول به مع بعض التقييدات و(3) مجموعة القبول به بدون أيّة تقييدات و(4) مجموعة ليس لها موقف واضح. المجموعة الرافضة قطعا تضم الكنائس الكاثوليكية بأشكالها العديدة وكنيسة المُرمُن ومعبد الهندوس والكنيسة اللوثرية والكنيسة المعمدانية الجنوبية. أمّا المجموعة الرابعة التي لم تفصح عن موقفها فتضم المسلمين والبوذيين والكنيسة المعمدانية الشمالية واليهود الأرثوذُكس، وبين المجوعتين كنائس وفئات تؤيد الأجهاض ضمن شروط صارمة معينة، وأخرى وفق قيود قليلة للغاية.

ظهرت اختلافات الرأي المشار إليها بصدد الإجهاض في استفتاءات الرأي العام حول العالم. ففي عام 2017 مثلا، أفاد 58% من مجموع الأمريكيين المساهمين في أحد الاستفتاءات بأنّ الإجهاض يجب أن يكون قانونيّا، فيما افاد 40% أنّه غير قانوني في غالبيته. وليس من المدهش أنّ

اليهود والبوذيين وغيرهم من الجماعات غير التابعة، كانوا من أشدّ المؤيدين للإجهاض، في حين كان الكاثوليك والإنجيليين والمُرمُن وجماعة جهوفا وِتنَس، ممّن عارضوه بقوة[342]. كما اجرت **مؤسسة بُرْفيلد** استفتاء في 23 بلدا، كشف أنّ البلدان الأوروبية المتحررة، أكثر ميلا للقبول به، في حين أنّ الكثير من المسيحيين في بلدان أمريكا اللاتينية التقليدية وفي آسيا وأفريقيا، عبّروا عن معارضة شديدة[343].

تنعكس هذه الاختلافات في الرأي على القوانين الواسعة المدى، التي تنظم عمليات الإجهاض وفق الاختصاصات التشريعية المختلفة حول العالم. اعتمادًا على تحليلات **مؤسسة پَو للاستفتاءات**، فإنّ 26% من البلدان البالغ عددها 196، التي شملها الاستفتاء تسمح بالإجهاض فقط لإنقاذ حياة الأمّ، فيما وضعت 42% منها قيودا صارمة على هذه العمليات. تظهر أكثر هذه القيود الصارمة في البلدان التي تتمتع فيها المؤسسات الدينية بلعب دور قيادي في المجتمع. كافة البلدان الستة، التي تمنع الإجهاض، لأيّ سبب كان، هي التي تسيطر فيها الكنيسة على شؤون المجتمع[344]. يوضح اختلاف الهياكل القانونية لماذا تذهب النسوة اللواتي يَسكنّ في ولاية لِويزيانا، وهي أشدّ الولايات صرامة في منع الإجهاض[345]، إلى خارج الولاية إذا احتجن لمثل هذه العملية، ولماذا تعبر النساء، اللواتي يسكنّ في أندورا حيث يُمنع الإجهاض، الحدود والذهاب إلى فرنسا من أجل ذلك الغرض.

ليست الفوارق بين مختلف المجتمعات حول تنظيم مسألة الإجهاض استمرارا للنقاش حول تعديل الجينات البشرية، لكنّها في لبّ تلك النقاشات حول تخصيب البويضات في المختبرات IVF واختيار الأجنّة وأساليب هندسة الجينات البشرية الموروثة. تؤدي كافة هذه الإجراءات تقريبا إلى تلف أو تجميد الأجنة، التي لا يُنوى زرعها في أرحام الأمهات. ومن هنا فإنّ سياسة الإجهاض قد تحوّلت بالفعل إلى سياسة تتعلق بالمساعدة على الإنجاب ومسح الأجنة وفحصها لأغراض تعديلها. لقد كان تعديل هايد في الكونگرس على قانون الإجهاض مثال واضح لتلك السياسة. كان هذا التعديل وليد نقاشات طويلة وأدّى إلى فرض قيود صارمة على بحوث الجينات البشرية في الولايات المتحدة[346].

إذا كان الناس قد وصلوا إلى حالة من الجنون حول القضايا المتعلقة بالبيئة والجيمو والإجهاض، ووصل بهم الحدّ إلى قطع الطرق للوصول إلى مراكز البحوث وتدميرها لأنّها تقوم

بتعديل جينات المحاصيل، وهاجموا عيادات الإجهاض وقتلوا العاملين فيها من الأطباء والممرضات. يمكننا إذن تصوّر ماذا سيحدث إذا كان مثل هؤلاء الأفراد بثقافاتهم وتجمعّاتهم ولربّما بايحاء من الحكومة، لدفع وسائل متعددة لمواجهة النشاطات العلمية المستجدّة لخلق جينات بشرية معدّلة.

* * *

أطلقت منظمة فرنسية سمّت نفسها **تحالف فيتا** Alliance VITA حملة للناشطين، ووقع اعضاؤها عريضة حول «وقف أطفال الجيمو»[347]، هذا نصّها:

PETITION

CRISPR-Cas9:
Yes to therapeutic progress, no to transgenic embryos!
Men deserve to be cared, and not genetically programmed.

For the past few months, the use of the CRISPR-Cas9 technology has been sharply increased: this technique allows to modify directly the DNA (genome) of any vegetable, animal, or human cell..

This technology, is promising to treating various genetic diseases in children and adults. **But when applied to human embryos, it can produce from scratch, genetically modified humans**: "GM babies".

A worldwide ethical regulatory framework must be implemented.

GM babies? NO!

By signing this petition, I ask my country to urgently undertake and secure an international moratorium—meaning an immediate halt—on genetic modification of human embryos, **in particular using the CRISPR-Cas9 technology**.

Name	Address	Signed

Source: https://www.alliancevita.org/en/2016/05/stop-gm-babies-a-national-campaign-to-inform-and-alert-about-crispr-cas9-technique/

عريضة

كرسپر - كاس9:
نعم للتقدم العلاجي، لا للأجنة المعدّلة وراثيا

يحتاج الإنسان للعناية، لكنّه لا يحتاج إلى برمجة جيناته

تزايد خلال الأشهر القليلة الماضية استخدام تكنولوجيا **كرسپر كاس9**.

تسمح هذه التقنيات بالتعديل المباشر للحمض النووي (الجينوم) لخلايا النبات والحيوان والإنسان

هذه التكنولوجيا، واعدة في معالجة مختلف الأمراض الجينية لدى الأطفال والبالغين. **ولكن حين تُطبّق على الأجنة البشرية، فإنّها ستخلق بشرًا معدّلين وراثيًا:** «أطفال الجيمو»

يجب وضع إطار تنظيمي أخلاقي على مستوى العالم أجمع

أطفال الجيمو؟ لا!

بتوقيعي على هذه العريضة، أطلب من حكومتي أن تعمل بشكل مستعجل على وضع وتأمين وقف عالمي - معناه التوقف حالا عن تعديل الجينات البشرية، **خاصة باستعمال تكنولوجيا كرسپر كاس9**.

وقّع على العريضة أكثر من 10 الآف شخصًا، ولم تحقق تلك الخطوة نجاحًا كبيرًا، إلّا أنّها كانت نذيرًا لأشياء قادمة. إنّ المناقشات المستقبلية حول الجينات البشرية المعدّلة يمكن إلى حدّ ما أن تكون أقلّ إثارة للخلافات كما في مسألة الإجهاض، خاصّة إذا كانت فوائد هندسة الجينات تزداد انتشارا ويطلع عليها الرأي العام أسرع من محاولات إثارة المخاوف. أحسن مثال على ذلك الإخصاب داخل المختبرات IVF.

في عام 1978 وإثر ولادة *لويس براون* في انگلترا، أفاد 28% من الأمريكيين إنّ هذا الإخصاب خطأ أخلاقي. ولكن بدأ الناس يدركون بسرعة فوائد هذه الطريقة لمساعدة النسوة على الحمل وولادة الأطفال. كان هذا النجاح الواضح هو السبب لمشاهدة المحتجّين من «أنصار الحياة» يتظاهرون أمام عيادات الإجهاض وليس أمام مختبرات الإخصاب، رغم علمهم، أنّ أجنّة في مراحل تكوينها الأولى يتمّ التخلص منها. حين سُئِل الناس عام 2013، أفاد 12% من الأمريكيين بأنّ الإخصاب المختبري خطأ أخلاقي[348]. وهذا أقلّ بكثير من 40% ممّن يعارضون الإجهاض. ومن ناحية أخرى، فإنّ الموقف العام ازاء مسح الجينات وفحصها وتعديلها قبل زرعها، لم يلقَ بعد قبولا على مستوى قبول الإخصاب المختبري.

أشار 74% من الأمريكيين، الذين استفتوا من قبل جامعة جونز هوپكِنز، معبّرين عن تأييدهم لمسح الجينات قبل زرع البويضات المخصّبة في أرحام الأمّهات تفاديا للأمراض الخطيرة.

إلّا أنّ نسبة 28% فقط كانت مرتاحة إزاء اختيار جنس الجنين وأنّ 20% اختاروا صفات أخرى لا علاقة لها بالأمراض مثل زيادة معدّل الذكاء[349].

من الطبيعي أنّ تعديل الأجنّة قبل زرعها أكثر أهمية في مسألة التدخّل intervention مقارنة باختيار أيّ جنين يمكن أن يُزرع في رحم الأمّ. حين طرحت مؤسسة STAT وكلية الصحة العامة في جامعة هارفرد في عام 2016 على عينة من الناس سؤالا، إن كانوا يعتقدون أنّ مسح الجينات وتعديلها يجب أن يُستخدم لزيادة الذكاء أو الصفات البدنية للطفل قبل الولادة، حظي الأمر بموافقة 17% فقط من قبل الأمريكيين[350]. أمّا استبيان مؤسسة پَو، الذي اجري بعد عامين، فقد كشف عن نسب متقاربة، إذ ذكر 19% فقط من مجموع الأمريكيين أنّهم يرغبون في تعديل جينات أطفالهم ليكونوا أكثر ذكاء[351]. ولكن حين سُئِلوا إن كانوا يرغبون في تعديل جينات أطفالهم بقصد حمايتهم من الأمراض الوراثية، قفزت النسبة إلى ما يقرب من 50% على الموافقة، حسب ما كشف الاستفتاء عام 2016، ثمّ ازدادت النسبة إلى الى 75% حين أعيد نفس الاستفاء عام 2018 [352].

تشير استطلاعات الرأي هذه إلى أنّ الأمريكيين أكثر قبولًا للتدخل إذا كان قائما على أغراض طبيّة واضحة. أضف إلى ذلك أنّ الأولياء، على الأقلّ من ناحية المفاهيم، يودّون بشكل مستميت حماية أطفالهم من المخاطر، حتى لو تطلب الأمر تعديل جينات أولئك الأطفال. كما أشار الاستفتاء ذاته إلى أنّ مستوى قبول هذه الأنواع من التدخلات تلقى قبولا متزايدا. وكما رأينا في حالة الإجهاض، فإنّ المتدينيين الأمريكيين أكثر تشدّدا في مواقفهم ازاء مسح الأجنة وتفحصها، مقارنة بغير المتديّنين.

لربّما شهدت المملكة المتحدة تحوّلا كبيرا حول زيادة قبول التدخلات في الجينات. أشار ثلث البريطانيين، الذين تمّ استطلاع آرائهم عام 2001، بأنّ بحوث الجينات بشكل عام غير أخلاقية وتتدخّل بأمور الطبيعة[353]. ولكن في عام 2017، أشارت نسبة من تمّ استفتائهم في المملكة المتحدة من قبل **الجمعية الملكية**، أنّ 83% يؤيدون تعديل الجينات لمعالجة الأمراض الوراثية الخطيرة، شرط ألّا تنتقل الصفات الجديدة وراثيا إلى أجيال المستقبل. أعربت نسبة مقدارها 76% عن تأييدها لفحص الجينات لإصلاح أيّ خلل فيها، حتى لوكان أثر هذا الإصلاح سينتقل وراثيا إلى سلالتهم. كما أنّ نسبة 40% أيّدت استخدام هندسة الجينات لتحسين القدرات، مثل الذكاء[354].

تعرّض المواطنون البريطانيون إلى حملة عالية المستوى من التثقيف حول تكنولوجيا الجينات أكثر من أيّ بلاد أخرى في العالم، خاصّة فيما يتعلق بالمناقشات حول نقل الميتوكوندريا.

أضف إلى ذلك أنّ سكان المملكة المتحدة ميّالون للعلم وأكثر تفتحا بشأنها. هذا هو السبب أنّ ثلاثة ارباع هؤلاء السكان يؤيدون تعديل الجينات بحيث تنتقل الصفات الجديدة والمعدّلة إلى الأجيال القادمة والى الأبد، وأنّ نصف السكان عبّروا عن استعدادهم لتحسين جينات أطفالهم في المستقبل.

رغم أنّ الصين قد تخلفت كثيرا عن الغرب في مسألة التكنولوجيا للمساعدة على الإنجاب خلال الحقبة الماضية، فإنّ البلد قد أظهر أكبر تحوّل على المستوى العالمي نحو قبول المساعدة في الإنجاب وانتشارها. إنّ العيش في مجتمع تمّ فيه كبت المشاعر الدينية على مدى حُقب عديدة من الزمن، لم يُنظر إلى مسح الأجنّة واجهاضها كقضية ذات علاقة بالدين، كما يراها العديد في بلدان العالم. إنّ المفهومين الصينين القديمين taijio بمعنى الأجنة السليمة وyousheng بمعنى ولادة أطفال، يؤكدان أهمية ولادة أطفال اصحاء للغاية[355]. أضف إلى ذلك وصمة العار، التي تحيط بهذه القضية في الثقافة الصينية، وقلة وجود المؤسسات التي تساعد المعوقين، عبّدت كافة هذه المفاهيم الطريق لقبول اجتماعي اوسع لمسح الأجنّة وتفحّصها في الصين أكثر من غالبية البلدان الأخرى.

كان يوجد في الصين لغاية عام 2004 عدد قليل لا يتجاوز 4 فقط من العيادات المجازة لمسح الجينات الوراثية وتفحّصها PGT قبل زرع الأجنّة في أرحام الأمهات. في عام 2016 ارتفع عدد هذه العيادات إلى 40. قد يبدو الرقم ليس كبيرا في بلد واسع كالصين، لكنّ العديد من هذه العيادات تعمل على مستوى هائل أكثر من أيّ بلد آخر. ومثال على ذلك، أنّ إحدى العيادات في منطقة چانگشا القريبة من العاصمة بَيجِنگ قد اجرت 41 ألف عملية للإخصاب المختبري IVF عام 2016 لوحده. وهذا يعادل ربع ما جرى من هذه العمليات في الولايات المتحدة بكاملها، وأكثر ممّا جرى في المملكة المتحدة خلال نفس السنة.

تزداد معدلات مسح الجينات وتفحّصها PGT بمقدار 60% إلى 70% سنويا، وتبلغ كلفة إجرائها في الصين ثلث الكلفة في الولايات المتحدة. وهذا ما جعل عدد هذه العمليات أكثر في الصين ممّا يجري في الولايات المتحدة، وما برِحت الأعداد بارتفاع متزايد[356]. تعلن العيادات في الصين عن قدرتها في استخدام عملية PGT لإزالة المخاطر الناجمة عن الأمراض الوراثية التي يتزايد عددها. حين اجري استفتاء باستعمال شبكة الإنترنت، أشار المواطنون الصينيون إلى «موافقتهم المعتدلة» وأنّهم يشعرون بالارتياح إذا تمّ تعديل جينات أطفالهم الوراثية مستقبلًا[357].

هذه الاختلافات في الرأي بين سكان الولايات المتحدة وسكان المملكة المتحدة وسكان الصين قد تكون في النهاية غير ذات أهمية، إذا قورنت باختلافات الرأي بين الأجيال. الشباب لا يجدون ضيرا في تطبيقات هندسة الجينات مقارنة بما يراه أولياؤهم[358].

وكما رأينا في قضية الإجهاض، وكيف أنّ الخلافات بشأنها تعود لأسباب دينية، نرى هذه الأسباب نفسها تدفع المجتمعات نحو اتجاهات مخالفة بصدد قضايا الجينات والأجنّة. إنّ غالبية المؤسسات الدينية وليس كافتها «تقبل معالجة الجينات ولا تجد ضيرا في التشجيع على معالجة الأمراض بتعديل الجينات المختلفة، شرط ألّا تصبح الصفات الجديدة وراثية تنتقل إلى الأجيال القادمة». ولكن تصبح الأمور أكثر تعقيدًا إذا توغلنا في المناقشة بشكل أعمق.

تعارض الكنيسة الكاثوليكية بقوة مسح الجينات وتفحّصها PGT، خاصّة ما يتعلق منها باختيار نوع الأجنة، التي تُزرع في أرحام الأمهات[359]. في عام 1995 كتب البابا جون *بول الثاني* في مجلة Evangelum Vitae «إنّ أساليب التشخيص في مراحل تكوين الجنين الأولى يحمل نوايا يوجينيّة من النوع الذي يُسهّل اختيار الإجهاض من أجل تحاشي ولادة أطفال يحملون أنواعا متعددة من العجز». ثمّ مضى للقول، «وهذا شيء مخزٍ ومرفوض تماما، لأنّه يفترض وجود مقياس على قيمة حياة الإنسان ضمن معالم الحياة الطبيعية والصحة الجسمانية. يفتح هذا الطريق لتشريع قتل الأطفال عند الولادة وأيضا ما يُسمى القتل الرحيم euthanasia»[360]. عارضت الكنيسة الكاثوليكية عام 2013 مسودة القانون البريطاني، الذي سمح للعيادات الطبية أن تحاول نقل الميتاكوندريا، مستعينة بتعليمات الفاتيكَن عام 1987، التي نصّت على أنّ، «البحوث الطبية يجب أن تبتعد عن إجراء أيّة عمليات على الأجنة البشرية، ما لم يكن هناك ضمان أخلاقي بعدم الحاق الأذى بحياة وكرامة الأطفال الذين لم يولدوا بعد»[361].

أمّا **المجلس الوطني لكنائس المسيح**، وهو مجلس أكثر تقدميّة ويشمل مجموعات من البروتِستَنت، فقد عبّر من خلال تقرير صدر عام 2016 عن تقديره واستساغته لتعديل الجينات الوراثية بالقول، «عن وجود علاجات يمكن أن تضمن احتمالات هائلة لإزالة الأمراض الوراثية بكاملها، شيء جيّد. ولكنّ يجب الحذر لأنّها قد تخلق صعوبة في التمييز لظروف الإنسان الطبيعية، التي يمكن أن تشجّع التمييز ضدّ الآخرين من ذوي العاهات»[362].

لكنّ هذا ليس أبعد ما وصلت إليه اللِبرالية المسيحية. في المؤتمر الذي عُقد عام 2017 لمناقشة مستقبل الذكاء الاصطناعي، في قصر دِچلي في مقاطعة أوكسفُردشاير في انگلترا، قابلت قسّا رائعا اسمه كرِستُفر *بِنِك* من الكنيسة المشيخيّة Presbyterian Church. يصف القسّ نفسه بأنّه «رجل دين يؤمن بالتكنولوجيا» و«مسيحي عابر للإنسانية» Transhumanist Christian. ذكر أنّ البشَر «يشاركون المسيح في الخلق co-creators، ويجب أن يكونوا رعاة التكنولوجيا مثل الذكاء الاصطناعي وتعديل الجينات وكلّ شيء يحسّن حياة البشر». دعا في كتاباته إلى «الاستعمالات الأخلاقية والنافعة للتكنولوجيا الحديثة من أجل تقدّم البشرية وتحسينها»[363].

إنّ وجهة نظره بالتأكيد هامشية بالنسبة للديانة المسيحية، لكنّها ربّما اقرب إلى مركز الفكر اليهودي. المفهوم اليهودي التقليدي Tikkun Olam يعني «إصلاح العالم». يقترح هذا المفهوم بأنّ العالم فيه خلل يحتاج إلى الإصلاح. وهذه المهمة منوطة بكلّ يهودي، باعتباره أداة الرّبّ في الإصلاح. «كلّ ما خُلِق خلال 6 أيام»، حسب قول التوراة في سفر التكوين، الإصحاح رقم 11:6، «يتطلب تحسينًا... يحتاج القمح أن يُزرع في الأرض، وحتى الإنسان يحتاج إلى التحسين». وعليه ومن هذه الناحية، فإنّ إكمال خلق الرّبّ لا يُنظر إليه باعتباره نقدًا أو مسًّا بما هو مقدّس، ولكنّه يعني الأخذ بالهدف الإلهي. لا يوجد في اليهودية هيكل للقيادة الهرمية كما في المسيحية، ولكنّ مجموعات اليهود الأرثوذُكس المحافظين، كما أوضح *ناي - ساكس*، كانوا في طليعة من تبنّى التقنيات الجينية المتقدمة.

في مقالة نُشِرت عام 2015 في المجلة الطبية اليهودية، شرح *الحاخام* موشيه *تَندلَر* من جامعة يَشينا، وجون *لويك*، المهتم بأخلاقيات علم البايولوجيا، لماذا يساند القانون اليهودي النسوة اليهوديات في التجارب الطبية لعلاج الميتاكوندريا وتبديلها MRT، رغم أنّ هذه المعالجات يمكن أن تنجم عنها ولادة أطفال معدّلين وراثيا. ذكرا، «إنّ سماح القانون اليهودي للنسوة المشاركة في تجارب MRT هو بقصد الحصول على أطفال اصحّاء... وإنّ اقبالهنّ على مثل هذه التجارب ليس فقط دليلا على حبّهنّ وعطفهنّ اللامحدود، لكنّه أيضًا يُولد نوعا من المسؤولية الاجتماعية، التي تعبّر عن إسهام اليهود في تحسين صحّة مجتمعنا بأكملِهِ»[364].

إنّ الانفتاح على بعض التعديلات الجينية لا يعني بالضرورة أنّ حركات ما بعد الإنسانية والديانتين المسيحية واليهودية بشكل عام، والبوذية التقدمية وغيرها من الجماعات المتدينة، مستعدة

لسلوك هذا المنحدر الزلق إلى مستوى يتجاوز الإنسانية. غير أنّ الاختلافات في المذاهب والعقائد البشرية حول تحسين الجينات قد حضي باهتمام بالغ داخل وبين تلك الأديان والتقاليد الفكرية، ووصل لحدّ القول بأنّ عصر التكنولوجيا الجينية يوشك على البزوغ. وأثناء حصول ذلك فإنّ العلوم بشكل عام وتطلعات حركة ما بعد الإنسانية transhumanist خاصّة، ستلعب دورا متزايدا لتفويت الفرص للوقوع في بعض الأفخاخ المنصوبة باسم الدين[365].

وحتى ونحن وسط هذه الثورة من الجينات البشرية، فإنّ الاختلافات الهامة داخل وبين الأفراد والمجموعات والحكومات حول هندسة الجينات الوراثية، بدأت تنعكس وتظهر على صورة قوانين وطنية.

لا يوجد تشريع أمريكي يغطي الإخصاب البشري في المخبرات IVF، ولكنّ أمريكا تتميّز بوجود لوائح وتعليمات تخصّ موضوع مسح الجينات البشرية وتفحّصها PGT. القوانين الفدرالية الأمريكية تمنع تمويل البحوث، التي ينجم عنها اتلاف بعض الأجنّة. غير أنّ الأساليب، التي يتمّ فيه مسح الجينات خلال عمليات PGT قد تُرِكت بالكامل لتقدير الأطباء انفسهم لكلّ حالة ضمن الضوابط المهنية الخاصة بهم. ونتيجة لذلك فإنّ حوالى 9% من كافة عمليات المسح والتفحّص، التي تُنفذ داخل الولايات المتحدة تجري من أجل اختيار جنس الجنين، الذي يُعتبر غير قانوني في بلدان مثل الصين وكندا والهند والمملكة المتحدة. وهناك القليل من العيادات في هذا البلد يُسمح لها بطلب من الوالدين أن يختاروا الأجنة للتأكّد من أنّ الأطفال سيولدون وهم يحملون اخلال وراثية، كأن يولدوا اقزاما أو صُمّا لا يسمعون. وهذا أمر لا يمكن التفكير به في بقاع أخرى من هذا العالم[366].

لا يوجد في أوروبا قانون عام يخصّ المساعدة على الإنجاب. ونجم عن هذا وجود خليط من القوانين واللوائح المختلفة. تشترط أغلب البلدان الأوروبية على أنّ عمليات مسح الجينات وتفحّصها يمكن أن تُستعمَل فقط في حالات الأمراض الوراثية، التي لا علاج لها، بينما وضعت فرنسا والمملكة المتحدة أسسا واسعة وسلطات تنظيمية. على سبيل المثال Agence de la Biomedecine في فرنسا والسلطة التنظيمية لأمور الإخصاب البشري والأجنة في المملكة المتحدة. تميل هاتان الجهتان إلى عدم التشدّد والسماح لدى مراجعة الطلبات المتعلقة بعمليات PGT[367]. جدير بالذكر أنّ بعض البلدان مثل إيطاليا وألمانيا[368][369] أكثر تشدّدًا. نظرًا لأنّ المفوضية الأوروبية كانت اصدرت تعليمات عام 2008 منحت بموجبها مواطني دول الاتحاد

الأوروپي حرية السفر بدون أيّة تقييدات داخل الاتحاد لأغراض العلاج، بما فيها عمليات PGT التي قد تكون ممنوعة في بلد معيّن، فقد أدّى ذلك إلى تقليص كافة التقييدات المشار إليها.

في البلدان التي يلعب فيه الدين دورا بارزا مثل چِلِي وساحل العاج والفِلِپين والجزائر وأيرلندا والنمسا، فإنّ عمليت مسح الجينات وتفحّصها ممنوعة بتاتا. فإذا أرادت امرأة في چِلِي إجراء عملية PGT وإذا ارادت اسرة في الصين أن يولد لها صبي، فبإمكانهما إيجاد عيادة سرية لِفِعل ذلك أو السّفر إلى بلد آخر أو عدم التفكير بالموضوع. أشار استفتاء حديث إلى أنّ 5% من الذين تلقوا مساعدة في الإنجاب ذهبوا إلى العيادات الأوروپيّة و4% حضروا إلى الولايات المتحدة. وهم في العادة اناس يسافرون للخارج تحاشيا للتقييدات والعراقيل في بلدانهم الأصلية[370].

أكثر البلدان المتقدّمة مثل أستراليا وبلجِكا والبرازيل وكندا وفرنسا وألمانيا وهولندا، تمنع عمليات مسح الجينات وتفحّصها بأساليب، يمكن أن توافق عليها الأجيال الجديدة في المستقبل. أمّا الآن فتفرض البلدان المذكورة عقوبات شديدة على المخالفين. وبدلا من منع التلاعب بالجينات وتحويرها مباشرة، هناك صنف ثان يشمل فرنسا وإسرائيل واليابان، تجعل الأمر مخالفا للقانون أن تُجرى عملية الحمل باستخدام أجنّة معدّلة وراثيا. وهناك صنف ثالث يضم المملكة المتحدة، يعطي استثناء محدّدا للمنع ويعرض الطلبات على لجان تنظيم تنظر في كلّ طلب على حدة وتتخذ القرارات حول أيّة صفات وراثية يُنوى تغييرها، وتصدر الأوامر بالموافقة أو الرفض.

لا يوجد في الولايات المتحدة منع على تعديل الجينات الوراثية في الأجنّة، ولكن توجد لوائح وتعليمات تجعل مثل هذا الأمر مستحيلًا. أمّا في الصين، فإنّ الأمر على عكس ذلك. لديها قانون ملائم يحدّد التلاعب بالجينات البشرية، لكنّ الرقابة على تنفيذه تعاني من الضعف والتناقض، شيء يشبه عقلية الغرب الأمريكي عقب انتهاء الحرب الأهلية، بين الباحثين والعيادات المجازة، التي تقوم بتقديم المساعدة للإنجاب[371]. وهذا هو السبب الذي جعلنا لا نُفاجئ بالمحاولة، التي أصبحت مثار نقاش وخلاف حول مسح الأجنة وتعديلها في شهر نوفمبر من عام 2018، حين جرت في أحد مختبرات الصين بدون رقابة أو إشراف من قبل الجامعة ولا الحكومة. أمّا وتفحّصها. ونتيجة تغير الفكرة العامة حول الحصول على الأطفال، صادقت الحكومة الألمانية عام 2011 على السماح بإجراء عمليات PGT المشار إليها تحت ظروف محدّدة فقط.

البلدان الأخرى فليس لديها قوانين هامة حول تعديل الجينات الوراثية، وتهيء بعضها نفسها لتكون رائدة ومقصدا لإجراء عمليات غير مقيّدة للسياح من أجل إنجاب الأطفال[372].

تظهر الخرائط على الصفحتين التاليتين بعض الدلالات عن البيئات التنظيمية، التي تتعلق بتكنولوجيا الجينات حول العالم. توضح الخارطة الأولى أماكن عيادات التعديل الوراثي للجرثومية البشرية. أمّا الخارطة الثانية فتوضح اماكن عيادات استنساخ البشر لأغراض التكاثر. تشير الخارطة الثالثة إلى أماكن عيادات العلاج الجيني للجسد البشري. أمّا الرابعة فتوضح اماكن عيادات تشخيص الأجنة قبل زرعها. تعرض الخامسة اماكن عيادات بحوث الاستنساخ البشري، والخارطة السادسة توضح أماكن عيادات أبحاث الخلايا الجذعية في الأجنة البشرية.

كما يجب الانتباه إلى أنّ المناطق شديدة الدكن تعني وجود تقييدات مشدّدة. المناطق متوسطة الدكن تشير إلى وجود تقييدات معتدلة، أمّا المناطق خفيفة الدكن فتعني وجود تقييدات خفيفة. تشير الدوائر البيضاء إلى وجود قوانين ولوائح تشريعية، أمّا الدوائر السوداء فتعني وجود تنظيمات مراقبة ومتابعة.

نظرا لأنّ البيانات الجينية ستكون ضرورية للغاية بالنسبة إلى العناية الصحية الشخصية للأفراد وفكّ شفرة الجينات البشرية بشكل عام، وأيضًا كونها سهلة قابلة لسوء الاستعمال من قبل الآخرين، سيكون لدى المجتمعات أسباب وجيهة لحماية البيانات الجينية للمواطنين جميعا. وهنا نجد أيضًا أنّ الاختلافات من بلد لآخر تكبر وتتسع. تنظم بعض البلدان وتحمي خصوصية الجينات وغيرها من البيانات، في حين أنّ بلدانا أخرى لا تهتمّ بالأمر كثيرا.

الأمثلة على ذلك عديدة، منها **القانون الأمريكي عن المعلومات الجينية** GINA لعام 2008، و**القانون الكندي حول عدم التمييز طبقا لمسألة الجينات، وقانون المملكة المتحدة لعام 2010 حول المساواة، وقانون أستراليا حول خصوصية الجينات وعدم التمييز** اعتمادًا على البيانات الجينية المسجلة لدى دوائر الصحة وشركات التأمين والمؤسسات الخدمية. لكنّ كلّ هذه لا توفر الحماية لبيانات المواطنين الجينية، مقارنة بما فعله الاتحاد الأوروپي[373].

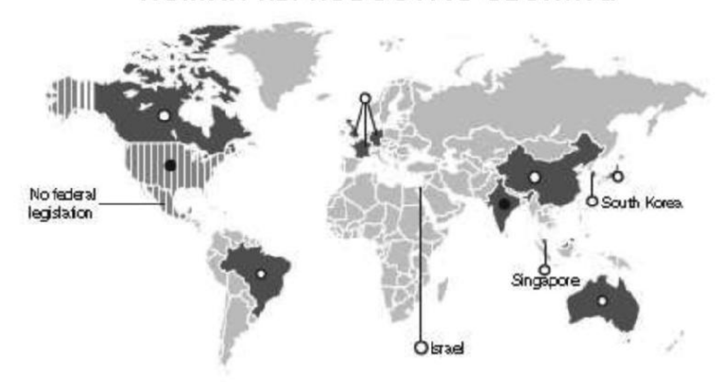
لقد قطع الاتحاد الأوروپي شوطًا بعيدًا في مجال حماية حقوق الأفراد وخصوصيتهم. في عام 2018 صدر **قانون لتنظيم حماية البيانات** GDPR، وأصبح نافذ المفعول مباشرة. يُعتبر هذا

القانون من أفضل القوانين في العالم لحماية البيانات الشخصية التي تُجمَع من المواطنين في أيّ مكان في العالم، ووضع تقييدات صارمة جديدة على الشركات للمحافظة على خصوصية تلك المعلومات وسريّتها. برغم أنّ النقاش العالمي حول قانون GDPR قد تركّز

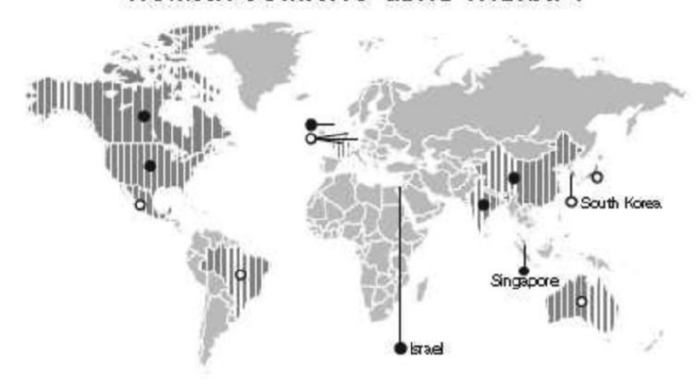
HUMAN GERMLINE GENETIC MODIFICATION



HUMAN REPRODUCTIVE CLONING



HUMAN SOMATIC GENE THERAPY

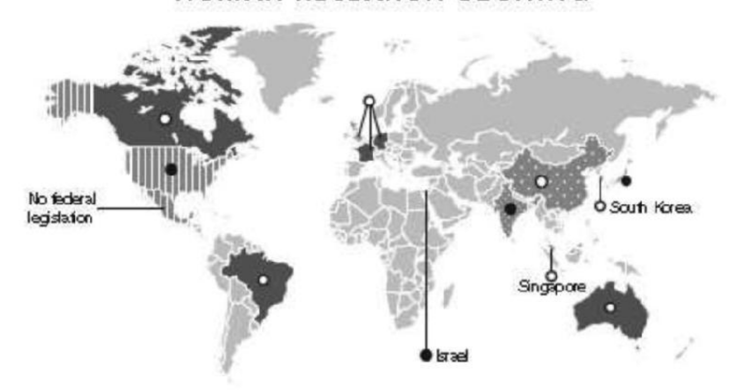




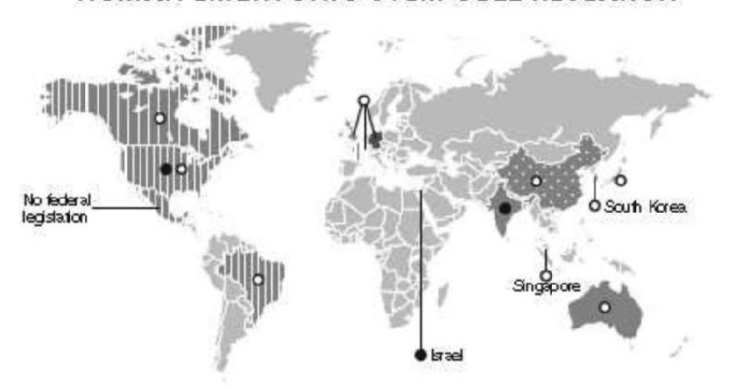
PREIMPLANTATION GENETIC DIAGNOSIS



HUMAN RESEARCH CLONING



HUMAN EMBRYONIC STEM CELL RESEARCH



Source: R. Isasi, E. Kleiderman, and B. M. Knoppers, "Editing Policy to Fit the Genome?" Science 351 (2016): 337-339.

على الضغط، الذي يضعه على الشركات الأمريكية مثل گوگِل وفَيسبُك، فإنّ تطبيقاته حول خصوصية بيانات الجينات تحضى بذات الأهمية. يتطلب القانون المذكور موافقة الشخص المعني للإشارة إلى بياناته الجينيّة قي أيّة دراسة، أو وضعها في بُرْكة جمع البيانات data pool[374].

كما أصدرت الصين حديثًا قانونًا لحماية البيانات الوطنية الشاملة وله تطبيقات عديدة فيما يتعلق بالمعلومات الجينية. صدر في عام 2017 **قانون شبكة معلومات الأمن لجمهورية الصين الشعبية،** الذي فرض حماية لخصوصيّة المعلومات وفرضَ على الشركات استحصال موافقة الشخص المعني حول نقل بياناته الشخصية إلى خارج الصين. كما منع القانون نقل مثل هذه المعلومات الشخصية، إذا كانت تمسّ أمن البلاد والمصلحة العامة. ينطبق هذا القانون على ما يُسمّيه معلومات شخصية «حساسة» وهذه فئة تضمّ المعلومات الجينية[375].

رغم أنّ قوانين الخصوصية في أوروپا والصين تبدو للوهلة الأولى متشابهة، فهي أبعد من ذلك تمامًا. فقانون GDPR، الذي اقره الاتحاد الأوروپي قد قام على حماية المواطن من استعمال بياناته الخصوصية بدون موافقته، حتى وإنْ كانت الحكومة تفعل ذلك. أمّا في الصين، فإنّ القانون الجديد يضمن للحكومة احتكار البيانات الخاصّة بالجينات وما سواها، من التي تُجمع من كافة الناس داخل الصين وعنهم.

في الوقت الذي يعمل فيه الاتحاد الأوروپي على منع استعمال المعلومات الجينية لخلق دولة پوليسية، فإنّ وزارة الأمن العام الصينية، تجمع أكبر قاعدة لبيانات الحمض النووي DNA. وهذه أكبر محاولة لتأمين السيطرة على المجتمع. فالمواطنون الصينيون الذين يدينون بالدين الإسلامي في مقاطعة شِنجانگ وغيرهم من الإقليّات القومية الأخرى والعمال المهاجرون والمنشقون وطلبة الكليات والناشطون، فقد طلب منهم إعطاء عيّنات من دمائهم لإدخالها ضمن قاعدة البيانات الوطنية[376].

قد تبدو حماية خصوصية بيانات الفرد أمرا مبرّرا باعتبارها جزء من حقوقه في الاتحاد الأوروپي أو نظام نظام السيطرة المطلقة في الصين. لكنّ الحقيقة دائمًا أكثر تعقيدًا من ذلك.

بالنسبة لغالبية الناس، فإنّ فكرة تعقّب الحكومة أو الشركات لجوانب حياتنا أمر مخيف. من ناحية حقوق الإنسان، تبدو الخصوصية أمرا أساسيا. أمّا من وجهة نظر تحليل البيانات الكبيرة، فهو على أيّة حال قد يشكل عائقا لجمع البيانات، بحيث يمكن الوصول إلى رؤية قابلة للتنفيذ.

نظرا لأنّ معرفة ما تعمله جينات الفرد والجماعات هي المشكلة التي تعيق جمع البيانات الكبيرة، فإنّ حجم وجودة نوعية البيانات يجعلان من الممكن الكشف عن أنواع أنماط الأمراض والصفات الوراثية. إنّ الذي يحصل على أكبر البيانات وأفضلها سيكون قادرا على قيادة ثورة الجينات، بكلّ ما تجلبه من الثروة والنفوذ والتأثير والقوّة.

قد يقود الأمر إلى أنّ استثمارات الصين الهائلة في مجال الذكاء الاصطناعي وجهودها لتأمين القيادة في علوم الحياة والبايوتكنولوجي والقدرة على تأمين البيانات الهائلة عن الأشخاص، الذين يتمّ وضع التسلسل الجينومي لهم والمصحوب بسهولة الاطّلاع على سجلاتهم الطبية الكترونيا، سيضع الصين في المركز الأول ضمن الجهود العالمية لفكّ شفرة الجينوم البشري وتغيير العناية الطبية التي نعرفها الآن وقيادة العالم في ميدان ثورة الجينات. ومن الجهة الأخرى، فإنّ حماية خصوصية بيانات الأفراد في الولايات المتحدة واوروبا، ستقود إلى بناء مجتمعات قويّة أكثر تماسكا ولديها معايير اعلى لجمع البيانات الجينية وستتوصل إلى اختراعات ذات نوعية أفضل. المجتمع الذي يتخذ القرار الأحسن سيكون هو من يقود حركة الاختراعات والابتكارات في المستقبل. لكنّنا يجب ألّا نخدع أنفسنا بشأن المخاطر والكلفة العالية، التي سيدفعها المجتمع، إذا اتخذنا القرار الخاطئ.

* * *

إنّ البيئة ومحاصيل الجيمو والإجهاض والنقاشات الدائرة حول هندسة الجينات، تظهر كيف أنّ المجتمعات باختلاف تاريخها وحضاراتها وضغوطها الاقتصادية ونظمها السياسية، سترذ بشكل مختلف على التكنولوجيا الجديدة وكيف تتفاعل معها. وستقود هذا الفروقات إلى اختلافات واسعة قانونية وتنظيمية حول العالم بأسره.

الأخبار الجيدة المتوقعة، هي أنّ التفاوت في الطرق المختلفة يخلق «مختبرا للشعوب» حيث يجد كلّ منها طريقه وهو يتعامل ويتنافس مع الدول والشعوب الأخرى. وضمن هذا السياق فإنّ

البحوث والتطبيقات للتكنولوجيا الجديدة، حتى وإنْ كانت أحيانًا متطرفة، ستجد لها مكانا وستدفع عجلة الابتكار والاختراع قُدُما.

الأخبار السيئة المتوقعة هي أنّ اختلاف المعتقدات والأنظمة الوطنية قد يدفع البشرية نحو الهدف الأدنى ازاء هندسة الجينات البشرية. وإذا حدث هذا، فإنّ البلدان المتطرفة ستضع المعيار للآخرين، الذين يجب عليهم مواصلة المسيرة وأن يعتقدوا أنّ مستقبلهم جيد وقدرتهم على التنافس ورفاهيتهم لن تكون في موضع خطير. إنّ تنوّع المناهج، مثلها مثل كافة اشكال التنوّع، تزيد من نسبة الاحتمالات السلبية والإيجابية.

وعلى أيّة حال، فإنّ التنوع هو شرط بايولوجي مسبق، لكنّه لا يقود وحده إلى التطور، لأنّ التطور يحتاج عنصرا اساسيا آخر هو التنافس.

إذا كانت اتجاهاتنا المختلفة حول هندسة الجينات تطرح مدى واسعا من الخيارات، فالتنافس بيننا سيدفع بجنسنا البشري نحو عصر الجينات.

الفصل العاشر
سباق التسلح بالجينات

حين يُعطى بعضا نوعا من فرص التفوّق على الآخرين، فإنّ ذلك البعض لا يفوّتها، حتى وإن كانت قد تجلب عليهم خطرًا كبيرًا.

منذ اللحظة التي وُلِدت فيها الحياة، دخل أجدادنا في حلبة سباق لا نهاية لها مع بعضهم البعض ومع الكائنات الحية الأخرى من اجل الحصول على مكاسب والبقاء على قيد الحياة. لقد شقّينا طريقنا لكي لا نكون لقمة سائغة للآخرين وتحاشينا ذلك المصير، بل يمكن القول أنّنا فزنا في مثل هذا السباق.

منذ الأيام الأولى، حين كان الأجداد يتنقلون من مكان لآخر ويمتهنون الصيد في اماكن عديدة، كانوا يتنافسون بلا هوادة، وغالبا ما سرق بعضهم قوت البعض الآخر وما يتوفّر له. حين حلّ عصر الزراعة والكتابة والآلات البدائية، بدأ الأجداد ينظّمون انفسهم ضمن مجموعات أكبر ولم يضيّعوا وقتا في تسخير تلك التكنولوجيا المحدودة من أجل تحقيق منافع شخصية وجماعية وذلك بالإغارة على الآخرين وإخضاعهم وقمعهم.

استطاع المغول تسخير الخيول والتدريب على الفروسية والقتال، فقهروا بقسوة العالم المعروف في وقتهم. أمّا المستعمرون الأوروپيون فقد استخدموا قوتهم وسفنهم واسلحتهم المتقدمة للسيطرة على أجزاء شاسعة من العالم واستغلالها لمنفعتهم. التقدّم التكنولوجي الذي حققه الألمان واليابانيون قبل الحرب العالمية الثانية تمّ دحره وتدميره من قبل قوة منافسة ضمّت الأمريكيين والبريطانيين والمهاجرين الأوروپيين من العلماء، الذين اخترعوا الرادار وطوّروه ووضعوا ماكنة

التشفير وطوّروها واستخدموا اتصالات الراديو في الإبحار، واخيرا صنعوا القنبلة الذرية، التي ساعدت على انهاء تلك الحرب. في كافة هذه القضايا وفي العديد من غيرها، دفع التنافس إلى تطوير التكنولوجيا، حتى بعد أن تبيّن لنا أنّها ذات منافع خيّرة وأخرى شريرة مدمّرة خطيرة.

رغم أنّ الطوباويين utopians ولعدة قرون تصوّروا عالما نكتسب فيه جميعا **طبيعة بوذا** ونتخلص من نزوة التنافس المتواصل مع بعضنا البعض، لكنّ شمس ذلك اليوم لم تشرق اطلاقا بعد. بالرغم من أنّ مستويات الصراع الواسعة قد انخفضت قليلا حول العالم لعدّة حقب[377]، سيكون من الحماقة الخطيرة أن نعتقد أنّ الثورة الجينية مع كافة احتمالاتها العظيمة من جانب والخطيرة من جانب آخر، ستجري بطريقة متناغمة غير تنافسية وفي أجواء غير التي عهدناها. الحقيقة هي أنّنا سنرى مستوى من التنافس لم نشهده من قبل، وستزداد حدّة هذا التنافس والنتائج المترتبة عليه خلال عمليّات تطوير التكنولوجيا.

في السنوات المبكّرة لتوسّع الثورة الجينية، خاصة زيادة معرفتنا بالجينات وماذا تفعل وكيف يعمل الجسم وأيّة تعديلات يمكن إجراؤها لتجلب لنا أكثر المنافع، بدا يتّضح جليّا وجود تمييز مصطنع بين العلاج therapy والتحسين enhancement. أصبح بإمكاننا أن نحافظ على التصوّر بأنّ ثورة الجينات في المقام الأول وبشكل نهائي هي تحسين العناية الصحية وعلاج المرضى. قد يكون الأطباء في السنوات المبكّرة راغبين في منع ومعالجة بعض الاضطرابات المعينة والأمراض، لكنّهم أيضًا تجاوزوا الأهداف المنشودة بإعطاء الأجنة (وحتى بعض الأشخاص البالغين) مزايا إضافية. نظرا لأنّ ما اعتُبِر علاجا في رأي شخص واحد، ربما اعتُبِر تحسينا في رأي شخص آخر، فإنّ مفهوم ما هو «طبيعي» سيثبت أنّه هدف متحرّك. ولدى استخدام التطبيقات العلاجية القوية المستخدمة في تكنولوجيا الجينات، أصبحت هذه هي المعيار. وهكذا أصبح التمييز بين ما يُعتبرُ علاجا أو تحسينا في الجينات، في غاية الصعوبة.

بدأنا نسأل مثلا إذا كان يوجد حقيقة اختلاف أساسي بين التحسين الجيني لشخص ضعيف البصر ليصبح نظره طبيعيا مقابل أن يصبح نظره ممتازا للغاية، أو إذا كان هناك حقيقة فرق بين تحسين الجينات لتكون خلايا الشخص المريض قادرة على مقاومة السرطان أو مرض الإيدز بعد الإصابة بهما، أو زيادة القدرة على عدم الإصابة بالمرضين المذكورين أصلا. بعبارة أخرى سيزداد تساؤل الأولياء إذا كان هناك حقيقة فرق بين توفير المنافع الطبيعية مقابل توفير ذات المنافع عن

طريق الطبيعة. كلما ازداد توفر تحسينات من هذه الأنواع واعتبرت نافعة، كلما ازدادت حدّة التنافس بين المجتمعات وفي داخل كلّ منها، وسيرفع هذا دوافعنا العالية من أجل تنافس أشدّ.

يلقي عالم الرياضة ضوء خاصّا على الضغوطات الناجمة عن التنافس، وسيدفع هذا بالتأكيد إلى سباق التسلح الجيني[378].

* * *

هناك شكّ قليل بأنّ الجينات تلعب دورا مركزيا في احراز التفوق في مجالات التنافس الرياضية على اعلى المستويات، حيث تكون القواعد محدّدة بشكل دقيق، والقدرات المطلوبة للنجاح معروفة نسبيّا وتوزيع الإمكانات بين المتنافسين متساو تقريبا. هذ هو السبب، الذي يفسّر عدم وجود لاعبين بطول 5 أقدام ضمن أعضاء الاتحاد الوطني لفرق لعبة كرة السلة.

تناول *دَيفِد أبشتين* في كتابه الصادر عام 2013 بعنوان، «جين القدرات الرياضية: داخل علم القدرات الرياضية الاستثنائية». وصف تلك القدرات حين تطرّق إلى الرياضي الفنلندي *إيرو مانتِرانا*، أكبر بطل في رياضة التزحلق على الجليد في التاريخ، إذ أحرز 7 أوسمة أولومپية، بينها 3 أوسمة ذهبية ووسامين لبطولة العالم بين السنوات 1960 إلى 1972. وباعتباره بطلا بارعا، تمتع بأخلاقيات عمل هائلة وروح رياضية لا تُقهر. حين وضع التسلسل الجيني له ولأفراد عائلته في مطلع حقبة التسعينات، تبيّن أنّ *مانتِرانا* و29 شخصا من اقاربه لديهم طفرة وراثية نادرة في جين EPOR. جعلت هذه الطفرة أجسامهم أكثر قدرة على إنتاج الهيموگلوبين، أي كريّات الدم الحمراء التي تنقل الأوكسجين من الرئتين إلى أنسجة الجسم. وهذا هو ما جعلهم يتمتعون بقدرة أكبر على التحمل مقارنة بالأشخاص الاعتياديين[379]. لم يكن كافة أقارب صاحبنا أبطالًا أولومپيين. القليل منهم فقط، ولكن من المؤكّد أنّ تلك الطفرة الجينية قد زادت من احتمالات فوزهم.

النجاح في الميادين الرياضية ظاهرة معقدة لا يمكن حصرها بجين واحد طبعا، بما فيها حالة *مانتِرانا*. هناك المزيد من العوامل مثل التغذية وتشجيع الوالدين والدوافع الذاتية ووجود المدربين المناسبين وتوفر الفرص للعب، إلى جانب الحظ طبعا. وهي الأمور التي تلعب الأدوار الأساسية، لكنّ هذا لا يعني أنّ جينًا واحدًا فقط ليست له أهمية بالغة.

تتوفر للعديد من البشر طفرات من نوع جين ACTN3. وهو واحد من الجينات العديدة التي تؤثر في سرعة تقلص العضلات وانبساطها. بالرغم من أنّ العديد من الجينات المتعلقة بالأداء الرياضي قد خضعت للدراسة، فإنّ الجين المذكور هو الوحيد الذي له علاقة ارتباط بالعاب القوى الرياضية المختلفة. حين قام الباحثون بشلّ قدرة هذا الجين لدى الفئران، فقدت هذه مستويات كبيرة من قوة عضلاتها[380]. إنّ وجود جين ACTN3 وحده لا يجعل من الشخص عدّاء متميّزا. ثمّ أنّ الدراسات العديدة قد اظهرت أنّه أذا كان الشخص يحمل نسختين مُعطلتين من هذا الجين، فذلك يعني عدم وجود فرصة اطلاقا للفوز في سباق عدوٍ أولومپي.

ولكن من جهة أخرى، إذا كان الفرد يحمل طفرة في جين MTSN، الذي يعيق إنتاج مادة مايوستاتِن Myostatin وهو البروتين الذي يعيق إنتاج العضلات، فإنّ عضلاته ستستمرّ في النمو أكثر من أيّ شخص آخر. المثال على ذلك هو الطفل *ليام هوكسترا*، الذي لديه طفرة مايوستاتِن وأطُلِق عليه لقب «اقوى طفل في العالم». كان قادرا على اداء حركات جمناستيكية صعبة وهو في سن 5 شهور، وتمكن من إجراء تمارين السحب pull-ups وهو في سنّ 8 شهور.

كما أنّ للجينات تأثيرا عاليًا في سباقات المَرَثون. النجاح المذهل، الذي حققه العداؤن المشاركون من قبيلة كالِنجِن في كينيا، خاصّة المنحدرين من فخذ ناندي من تلك القبيلة، دليلٌ عل صحة ما ذكرناه. يعرف الجميع أنّ العدائيين الكينيين قد تصدّروا سباقات المسافات الطويلة وفازوا فيها لعدة حقب ما بين السنوات 1986 لغاية 2003. إزدادت نسبة العدائين من كينيا، الذين كانوا من ضمن العدائين العشرين الأوائل في العالم في سباق 800، وأكثر من ذلك قفزت النسبة من 13.3% إلى 55.8%. خلال 30 سنة الماضية حصل العدّاؤن الكينيون على نصف الأوسمة الأولومپيّة في ركض المسافات الطويلة في كافة البطولات العالمية. فاز عدّاءو الكلِنجِن بنسبة 84% من سباقات الرياضة في كينيا البالغ عدد 64 سباقا. كما أحرزوا على 8 أوسمة للبطولة العالمية بين الأعوام 1964 لغاية 2012 وكانوا عددهم 20 من أصل 30 عدّاء شاركوا في سباقات المَرَثون 25 مرّة[381]. وكما أشرنا فإنّ غالبية عدّائي كاِنجِن ينحدرون من أحد افخاذها الصغيرة، المُسمى ناندي. وهم مجموعة لا يزيد عدد أفرادها على المليون شخصا. في الوقت الذي يعكس فيه هذا النجاح المقدار الكبير من العمل الشّاق والوعي الوطني وغيرها من العوامل البيئية الأخرى، الدافع للتفوق في هذه السباقات، فإنّ الجذور الجينية لتفوّق أفراد قبيلة الكلِنجِن لا يمكن تجاهلها.

يتميّز أفراد القبيلة المذكورة بطول السيقان وضيق الحوض ونحافة الأطراف بشكل يتناسب مع الطول، أكثر من بقية المتنافسين، كما اتضح ذلك لأيّ من راقب هذه السباقات الطويلة خلال الحقب الماضية. وجد الباحثون السويديون، الذين أجروا اختبارات على أطفال القبيلة في عام 1990، أنّ أكثر من 500 صبيًا من طلبة مدارس كالِنجِن استطاعوا قطع مسافة 2000 مترًا، أسرع من أبطال العدو في السويد. وبعد أن قام الباحثون في المعهد الهولندي للعلوم بتدريب عدد كبير من صبية القبيلة على مدى 3 أشهر في عام 2000، ذكروا في عام 2003، أنّ أيًّا من الصبية يستطيع أن يعدو أسرع من أبطال العدو الهولنديين[382].

بالرغم من أنّه لم ولن يُكتشَف جين خاصّ بالمَرَثون، فإنّ الباحثين قد حدّدوا التأثير الهام لما يقرب من 200 جينًا تتدخّل في الأداء الرياضي[383]. أشارت دراسة أجريت عام 2008 لتقدير إمكانية العدائين ممّن يحملون واحدًا أو أكثر من 23 جينا معروفا لها علاقة بالقدرات الرياضية، فتوصلوا إلى استنتاج بأنّ العدد صغير لا يتجاوز 5 من كلّ 10 آلاف شخصا. إذا كان ذلك صحيحا، فإنّ الصين التي بلغ عدد سكانها حوالى 1.34 بليون شخصا، فيجب أن يوجد فيها 6700 شخصا ممّن يحملون هذه الجينات الخاصة بالسرعة من مختلف الفئات العمريّة. أمّا الولايات المتحدة الي يبلغ عدد سكانها 324 مليونا، فيجب أن يكون بينهم 650 شخصا ممّن يحملون تلك السّمات.

لنتصوّر بلدا مثل الصين، قرّرت أن تستعمل البيانات الكبيرة التي جمعتها حين بدأت وضع التسلسل الجينومي لكافة المواليد، وأيّ منهم تتوفر لديه القدرة ليصبح نجما رياضيا في مختلف مجالات الرياضة. يمكن إشعار أولياء الأطفال والاتحادات الرياضية، التي قد ترغب في تأمين الفرص الخاصة لهؤلاء الصغار الذين يتمتعون ببعض المزايا دون غيرهم. الأطفال الذين يظهرون استعدادات وحماسا لنوع من الرياضة، يمكن دعوتهم للإنضمام إلى أحد الأندية أو الاتحادات، التي تشجّع اللاعبين الجيدين، أو تطلب منهم أن ينضموا للمدارس الرياضية المتخصصة ويخضعوا لتدريبات إضافية صارمة. من الأفضل لهؤلاء، الذين يتمتعون بقدرات جينية رياضية، أن يُصبحوا أبطالًا يمثلون بلدهم في المنافسات العالمية. إنّ شيئًا قليلًا ممّا ذكرنا أعلاه، يحدث في وقتنا هذا.

حين حضرت مباريات شبه البطولة النهائية لكرة الطائرة للنساء في صيف عام 2008 خلال الدورة الأولومپيّة في بَيجِنگ، لاحظت تناقضا غريبا بين الفتيات الرياضيّات الأمريكيّات والصينيّات. كانت الأمريكيات خليطا من مختلف الحجوم والأطوال. في النموذج الأمريكي، غالبا ما

تكون طفلة أبدت استعدادا ورغبة بتشجيع من الوالدين. أنأ متأكّدٌ أنّ بعض اللاعبات الأمريكيّات لهنّ مستوى من التصميم والحماس وروح الفريق العالية والموهبة، كانت هذه جميعا واضحة وهي ما جاءت بهنّ إلى هذه الدورة الأولومپيّة. أمّا الصينيّات من الجانب الآخر، فكان واضحا وجود تناسق وتشابه في مظهرهنّ. يقوم المسؤولون الصينيّون بما قام به المسؤولون السوفيت منذ حقب عديدة. يقومون بملاحظة الأطفال، الذين يظهرون قدرات رياضية في وقت مبكّر، فيباشرون بتدريبهم وإعدادهم في مدارس رياضية خاصّة في كافة أنحاء البلاد. قد لا يقبل النقّاد هذا النوع من المدارس الرياضية، خاصّة حين يتعرض اولياء الطلاب إلى ضغوط للموافقة على ارسال أطفالهم لتلك المدارس. ويذهب آخرون للقول بأنّ مثل هذه الخطوات ستكون إعداد هؤلاء الرياضيين لأجل الغشّ في المستقبل.

لم تكن مباريات الدورة الأولومپيّة في بَيجينگ منافسة بين فريقين في لعبة الكرة الطائرة، بل كانت منافسة بين نوعين من الأنظمة الاجتماعية. لربّما يمكن القول إنّ النظام الأمريكي القائم على الفرد أثبت أنّه أفضل في خلق رياضيات مهيمنات. لكنّ النظامين الصيني والروسي كانا أفضل اداء. وبمرور الوقت لن تظلّ مثل هذه القضية مسألة نظرية، فالنجاح الرياضي سيُقاس بعدد الأوسمة الأولومپيّة التي تنالها الفرق المختلفة.

لقد جلبت القدرات الجينية إلى عالم الرياضة عنصرا جديدا، سوف لن يفتح المجال أمام فرص جديدة للغشّ والغشّاشين. لكنه سيطرح بالتأكيد تحدّياً لمفاهيمنا حول ما نسمّيه التنافس العادل. غالبا ما اشتكى الناس من أنّ الرياضيين من دول الكتلة السوفيتية، في الصين وروسيا وغيرهما، يمارسون تناول المنشّطات باشراف أجهزة حكومية، وأنّ رياضيين مثل بطل سباق الدراجات العالمي الأمريكي *لانس آرمسترونگ*، كان يحقن نفسه بمنشّطات لخلايا دمه الحمراء كي ترفع مستوى الهيموگلوبين في جسمه. هذا نموذج آخر للغشّ. إنّهم جميعا غشّاشون وفق قواعد الرياضة، التي يمارسونها.

في لحظة في القريب العاجل، سيكون بإمكان الرياضيين أن يعدّلوا جيناتهم لزيادة قدراتهم على التحمل وسرعة إصلاح أيّ عجز عضلي. بالتأكيد هذا النوع من «تنشيط الجين» Gene Doping هو نموذج صارخ للغشّ، وفق القواعد الرياضية لأغلب الألعاب. الآن وقد أصبح بإمكاننا أن نكشف ما تحت «الغطاء الجيني» Genetic Hood، فهل من العدل أنّ الشخص، الذي لا يتناول

المنشطات لإنتاج الهيموگلوبين ورفع مستواه، أن يتنافس مع شخص قد تهيأت له تلك الفرصة قبل أن يدخل السباق؟ ماذا نعتقد عن أشخاص على شاكلة الفنلندي *إيرو مانتِرانا*، الذين تعمل أجسامهم ما يحاول الغشاشون أن يجاروه؟ هل أنّ رياضيين من نوع الأمريكي *لانس آرمسترونگ* يرتكبون مخالفات حين يحقنون أنفسهم بالمنشّطات لزياد إنتاج الهيموگلوبين في أجسامهم؟ أمّ انّهم يفعلون ذلك لأنّ الآخرين يغشّون؟

كلما ازداد دور الاستعداد الجيني في تحقيق الفوز في بعض السباقات الرياضية وتناول المنشطات لذلك، كلما ازداد الإجحاف بحقّ من لا يتناولون تلك المنشّطات. ولكن نظرا لأنّ البشر مختلفون من الناحية الجينية، فإنّ معاقبة الرياضي الذي بقدرات جينية حقيقية، كمثل معاقبة عالم فيزياء لأنّه يمتلك قدرة جينية في المهارات الحسابية، ومعاقبة موسيقيّ موهوب تلتقط اذناه الأنغام بسرعة وكمال.

ومتى استطعنا معرفة وتحديد الاختلافات الجينيّة، التي تؤهّل بعض الرياضيين دون غيرهم، فقد يكون من إحدى الخطوات هو التمييز بين الرياضيين وفقا لاختلافاتهم الجينية بحيث يتنافس أفراد على شاكلة *مانتِرانا* مع بعضهم البعض، وأشخاص على شاكلة *آرمسترونگ* مع بعضهم البعض أيضا، وأن نفتح منافسات أخرى للناس الآخرين. قد يبدو هذا اقتراحا سخيفا لعدة أسباب، ليس اقلها اختلاف القدرات الجسمية باعتبارها اساس سباقات التنافس. لكنّه من المستحيل أن تُحدّد أيّ من الصفات الجينية، التي تخلق فرص النجاح في الميادين الرياضية. الخيار الآخر هو تقسيم الرياضيين وفق مجموعتين، من عُدّلت جيناتهم وآخرين ممّن لم تُعدّل تلك الجينات لديهم.

ومهما فعلنا، هل سيميل الناس إلى الرياضيين، الذين لم تُعدّل جيناتهم أو تُحسّنُ وتنخفض سرعة أدائهم وتقلّ، أم أنّهم سيشجّعون دائمًا الرياضيين البارزين الذين يتحسّن اداؤهم ويكسرون الأرقام القياسية ويوسّعون مفهوم ما يمكن للإنسان تحقيقه؟

يجني الرياضيون المحترفون وأبطال الدورات الأولومپية وغيرهم من نجوم الرياضة، المكآفئات العالية والأرباح والمنافع الطائلة نتيجة نجاحاتهم الرياضية. وهم بطبيعة الحال مستعدّون لاتخاذ ما يقدرون عليه من السبل لكسب المزيد من هذه الميّزات. وبعض هذه السبل خطيرة ويمكن أن تلحق الضرر بصحة هؤلاء الرياضيين، وهي الأساس في ادائهم الرياضي. إنّ ميادين لعبة كرة القدم والملاكمة وتسلق الصخور، هي من أفضل الأمثلة على ذلك. باستطاعة هؤلاء الرياضيين أن

ينسحبوا، لكنّ المباريات الرياضية التنافسية مثلها مثل التطوّر، تخلق ظروفا للسباق. حين يحقق أحدهم مزايا معينة جديدة، تصبح هذه هدفا يسعى كافة المنافسين الآخرين إلى تحقيقه.

لو أخذنا بنظر الاعتبار المكافئات المالية وغيرها من المنافع والمزايا، التي يحصل عليها الرياضيون المحترفون حين يتألقون، يكون بمقدورنا فهم كيف أنّ الناس، الذين تدفعهم مثل هذه الأمنيات، مستعدون للمخاطرة في صحتهم لتحقيق تلك الأحلام. لا يقتصر الأمر على الرياضيين المحترفين للجوء إلى التكنولوجيا الحديثة دون مراعاة مثل هذه المخاطر المحتملة. حتى أولياء الأمور يعملون نفس الشيء لمساعدة أطفالهم لتحقيق آمالهم الرياضية.

في الولايات المتحدة المأخوذة بالرياضة، تُرسِل العائلات أبنائها وبناتها إلى برامج رياضية تنافسية وهم في سن 4 سنوات. ويتدرّب هؤلاء وهم في سن 12 وفق برامج تنافسية جنونية مساوية تقريبا لتدريبات المحترفين. ولغرض الاستجابة لسوق طلبات الأولياء المتحمسين، قامت في السنوات الأخيرة صناعة كبيرة لوضع الاختبارات الجينية وبيعها مباشرة للمستهلكين لغرض معرفة استعدادات الأداء الرياضي والتنبؤ بها. إنّ شركات مثل أطلس بايومَد وديناأيفِت وجينوتَك وجونيديو وويجين، توفّر لأولياء الأمور وغيرهم المعلومات، وعمّا إذا كان اختبار جينات الفرد يشير إلى طفرة جينية واحدة يُعتقد أنّها تؤمن القدرة الرياضية أو غيرها. برغم أنّ مثل هذه التنبؤات ليست دقيقة من ناحية الجينات[384]، فإنّ استخدامها سيستمرّ كلما ازدادت المعرفة بهذه الجينات. وسيخلق هذا إمكانيات جديدة لأولياء الأمور.

حين يزداد تحديد الجينات المرتبطة بالقدرات الرياضية، سيُفسح المجال أمام الأولياء لاختيار الوسائل، التي تتنبأ بالقدرات الرياضية اعتمادًا على الجينات في ميدان دون ميدان آخر. وسينسحب ذلك أيضًا على اختيار الأجنّة لزرعها في أرحام الأمهات واستعمال الإخصاب المختبري IVF. لا توجد في الوقت الحالي أيّة قوانين في الولايات المتحدة تمنع العيادات من توفير هذا الخيار لأولياء الأمور كي يقرّروا مثل هذه المواضيع.

لِنقل إنّ الوالدين اختارا جنينا معينا للزرع اعتمادًا على التوقعات بأن يكون الوليد في المستقبل عدّاء محترفا، أو يستطيع جسمه إنتاج الهيموگلوبين أكثر من معدل الشخص العادي، أو ببساطة اختبار المؤشرات الجينية للمولود الجديد باستخدام السبل المتوفرة للمستهلكين في الأسواق. هل ستنتظر الاتحادات الرياضية وبرامج تدريب النُخب الرياضية في هذه المعلومات باعتبارها جزء

من البيانات كي تقرر مساعدة الشاب الرياضي أم لا، خاصّة وأنّ البلدان المنافسة كالصين، تقوم بذلك فعلا الآن.

أشارت شركة Jixue Gene، وهي شركة خاصة مقرها في العاصمة الصينية، في موقعها على الأنترنت أنّها تعمل بالتعاون مع الحكومة الصينية من أجل مسح الجينات لمعرفة مَن يتعلق منها بالقدرات الرياضية. «إتصلت الفرق الوطنية والمدربون بشركة Jixue Gene»، كما أشار موقعها المذكور، «ليتمّ مسح جينات كافة الطلبة، الذين تتوفر لديهم القدرة على التدريب، ضمن برنامج الشركة التكنولوجي لفكّ شفرة الجينات المختلفة».

سبقت حكومة أوزبكستان عام 2014 العالم بأنّها ستدمج ما بين الاختبارات الجينيّة والبرامج الرياضية في البلاد. والى جانب اللجنة الوطنية الأولومپيّة وعدة اتحادات رياضية، ذكرت اكاديمية العلوم الأوزبكية أنّها ستجري اختبارات على الأطفال تتعلق بما عدده 50 جينا يُعتقد أنّ لها تأثيرا على القدرات الرياضية، في محاولة لتحديد هوية أبطال الرياضة في البلد للمستقبل[385]. وفي شهر أغسطس من عام 2018 أعلنت وزارة العلوم والتكنولوجيا في الصين أنّ الرياضيين الصينيين، الذين يطمحون للمشاركة في دورة الألعاب الأولومپيّة الشتوية لعام 2022، سيُطلب منهم إجراء وضع التسلسل الجينومي واستكمال سجلّ «للسرعة والتحمّل وقوّة الانطلاق»، باعتبارها عوامل مهمّة في عملية اختيار رسمية تقوم على «المؤشرات الجينيّة». إنّ هذا النوع من الاختيار اليوم له احتمالات ضعيفة للنجاح، لأنّنا نعرف القليل نسبيّا عمّا تفعله الجينات. أضِف إلى ذلك، أنّ النجاح الرياضي خليط معقّد بين العوامل البايولوجية والبيئيّة.

ولكن لو أخذنا الفرق بين البطل العالمي الذي يمثل البلد مقارنا بالمشاركين الآخرين، سنجد الفرق في التوقيت لا يتجاوز أجزاء من الثانية. ومع ذلك فإنّ البلدان والمنظمات الرياضية ستحذو حذو النموذجين الصيني والأوزبكي، حتى لو كان ذلك يقوم على لمحة من الفعالية.

حين تصبح الاختبارات الجينيّة المتقدمة معتمدة من قبل بلدان أخرى لمعرفة نجوم الأولومپياد في المستقبل، فسيكون أمام البلدان الأخرى خيار واحد. إذا كان قادة الاتحادات الرياضية يعتقدون أنّ الاختبارات الجينيّة لن تحقق النجاح المطلوب، فإنّ الأمر لا يهمّ في شيء. وحتى لو نجح استعمالها، فإنّ هذا النوع من الاختبارات يخالف الروح الرياضية. وعليه، يصبح بالإمكان

تجاهل اختبارات تقييم الجينات بالنسبة للرياضيين الشباب. إذا صدّقوا أنّ الاختبارات الجينية قد يكون لها تأثير على المنافسات الرياضية الوطنية، فإنّهم سيكثّفون جهودهم لتحقيق ذلك.

حين تُرفع العقبات أمام الاختبارات الجينيّة الواسعة الإنتشار بين الرياضيين، فإنّ العقبات أمام اختيار الأجنة وبالتالي التعديل المحدّد للجينات لتحسين القدرات الرياضية ستتبع ذلك. سيحدث هذا في بعض الأماكن لنفس أسباب التنافس. المواطنون والقادة في هذه الأماكن، التي توجد فيها خطوط حمراء لا يُسمح بتجاوزها، سيحاولون التفكير بطريقة للاستجابة لذلك. وإذا انسحبوا، فإنّ رياضييّ بلدهم، سوف لن يقدروا على المنافسة في بعض الألعاب الرياضية.

المنافسات الرياضية هي فقط إحدى الأمثلة عن السباق البشري والتكنولوجيا، حيث لا بُدّ من استخدام الجينات المحسّنة حتى وإن كانت حميدة السياق نسبيًا. في الحقيقة، مَن يهتم بهذا الموضوع، إن لم تحصل الولايات المتحدة على وسام اولومپيّ آخر؟ ولكننا نهتمّ جدًا بأن يحصل أطفالنا على أعمال لائقة وأن يحققوا النجاح فيها. اقتصادنا قويّ وبلداننا قادرة على الدفاع عن نفسها. إنّ مقياس الجينات في ميدان الرياضة لا يقتصر على الرياضة فقط، بل أنّه يشمل الحياة أيضا.

* * *

لقد حققت كوريا الجنوبية معجزة حين نهضت من الأنقاض بعد انتهاء الحرب الكورية التي دارت بين الأعوام 1950 لغاية 1953 وحالها تشبه حال افقر البلدان الأفريقية. ومن خلال السياسات الحكومية الرشيدة والجهد المتواصل والولاء الوطني بلا هوادة من أجل تعليم أفضل، ارتفع معدل دخل الفرد من معدل اجمالي الدخل الوطني من 64 دولارًا في عام 1953 إلى 27000 دولارًا اليوم، وارتفع معدّل اجمالي الدخل الوطني ذاته من 41 مليونا إلى 1.4 ترِليون دولارًا، أي ارتفاع بمقدار 31000 مرّة.

يسجّل الطلبة الكوريون الجنوبيون اليوم وبشكل متواصل أفضل مستوى في التقييم، بالمقارنة مع الدول المتقدمة في العالم. أصبح البلد في طليعة بلدان العالم المتقدمة والمتنوّرة. نظرا لأنّ التنافس ضارٍ لاجتياز امتحان القبول في الجامعات الوطنية suneung للحصول على قبول في جامعات النخبة، والذي يُعتبر نقطة الانطلاق نحو النجاح، يبدأ الاستعداد لهذا الإمتحان في وقت

مبكّر. إضافة لمستوى التعليم الممتاز، الذي توفره المدارس الحكومية، فإنّ 75% من طلبة المدارس الإبتدائية يلتحقون بتشجيع من ذويهم في مئات الآلاف من المدارس الخاصّة.

وبسبب هذه الضغوط الهامة، فإنّ مستويات القلق والإنتحار في كوريا الجنوبية تُعدّ من بين أعلى دول العالم في هاتين القضيتين. واستجابة لذلك، فرضت الحكومة الكورية الجنوبية الساعة 10 مساء موعدا لتوقف التدريس في المدارس الخاصّة في البلاد، لأنّ العديد من الأطفال يُصابون بالإعياء نتيجة التعليم المتواصل منذ ساعات الصباح الأولى حتى تلك الساعة المتأخّرة. بالرغم من محاولات الحكومة لتخفيف الضغط على الأطفال الكوريين الجنوبيين، فإنّ السباق الكوري نحو التعليم الفائق المتميّز مستمرّ بلا انقطاع[386].

يذهب السباق للحصول على المنافع الأكبر في كوريا الجنوبية إلى أبعد من التعليم والتحصيل الدراسي. الاهتمام بالجمال الجسدي في البلاد يتخطّى ما موجود ومُتعارَف عليه حول العالم. بالرغم من أنّ مخاطر عمليات جراحة التجميل plastic surgery، معروفة وموثقة طبيّا، فإنّ نسبة هذه العمليات هي الأعلى في هذا البلد مقارنة بكافة بلدان العالم بأسره. قدّر أحد استفتاءات هيئة الإذاعة البريطانية BBC أنّ نصف الفتيات في سن 20 عامًا قد خضعن لنوع من جراحة التجميل. يدفع الأولياء كلفة هذه العمليات كهدية لدفع بناتهم للحصول على معدلات عالية في امتحانات نهاية المرحلة الثانوية[387]. «حين تكوني في سنّ 19 عامًا وتُقدِم كافة الفتيات في صفّك على إجراء عمليات تجميل من أنواع معينة، فإنْ لم تفعلي ذلك ستلاحظين بعد مرور سنوات قليلة أنّ كافة زميلاتك يتمتعن بمواصفات جمالية، إلّا أنتِ، التي لم تحصل على تلك الفرصة، فبقيتِ كما أنتِ عليه»، حسب ما صرّحت به طالبة جامعيّة كورية لمجلة نو يوركر[388].

قد يكون شغف ذوي الطالبات الكوريات في جراحة تجميل بناتهم في نهاية المطاف ضارّا بهنّ بسبب المخاطر الصحيّة، لكنّ المهمّ في رأيهم هو أن يحصلن على منافع بغية التنافس مع الأخريات في الجاذبية والجمال. وهم ليسوا وحدهم في هذا الحماس.

يتطلب التحاق الصبيان والفتيات للمرحلتين المتوسطة والثانوية في الصين، لجوء ذويهم إلى العلاقات الشخصية ودفع اجور دراسية باهضة، أضف إليها رشوة المدرسين والمسؤولين في تلك المدارس. أفادت صحيفة واشنطن بوست في تقرير لها عام 2013 بأنّ «القبول في مدارس المرحلة المتوسطة الجيدة في العاصمة بَيجينگ يتطلب دفع رسوم ورشوات تبلغ 16000 دولارًا فأكثر، وفق

ما ذكره أولياء الطلبة. وتصل الكلفة أحيانًا إلى 6 أرقام»[389]. وحين يتمّ قبول هؤلاء الطلبة في تلك المدارس، تبدأ الأعباء الدراسية الثقيلة بالتراكم طيلة أيام الأسبوع السبعة كاملة. أشار تقرير لوكالة رويترز للأخبار بأنّ «المنافسات الشرسة للحصول على فرص عمل في المستقبل ومطامح الوالدين، تعني قضاء ساعات طويلة بصحبة الكتب، وليس الأصحاب»[390].

ومثلما يفعل الطلبة الكوريون للتحضير والاستعداد لاجتياز اختبار suneung، يوجد اختبار مماثل للطلبة الصينيين اسمه gaokao. وهو أيضًا اختبار قاس بسبّب ضغوطه العصبية حتى على صغار الطلبة. جرى استفتاء عام سنة 2010 للطلبة بين سنّ 9- 12 عامًا في مناطق شرق الصين، فَوُجِد أنّ أكثر من 80% قلقون «كثيرا» بشأن الإمتحانات و67% يخشون معاقبة المدرسين لهم و75% يخافون العقاب البدني على أيدي آبائهم إن لم يثبتوا الجدارة. كما أظهر حوالى ثلث الطلبة أعراضا للإجهاد الدائم الشديد[391].

قد لا يدفع الآباء والأمهّات الأمريكيون أبنائهم وبناتهم بصورة تشابه ما يفعله ذوو الطلبة في الصين وكوريا الجنوبية. لكنّه توجد ضغوط عالية على طلبة المرحلة الثانوية كي يسجلوا درجات عالية في اختبارات SAT لرفع فرص قبولهم في الكليات والجامعات التي يفضّلونها. تبلغ كلفة الاستعداد والتحضير لهذه الاختبارات مليارات الدولارات، كما تمّ إعداد سلسلة من الكتب حول التدريب عليها وأكفأ الطرق لاجتيازها. وصدر كتابان، الأول بعنوان «الضغط على الأطفال» والآخر «ازدحام جدول دراسة الأطفال». أوضح المؤلفان فيهما السبل الصارمة التي يتبعها الأولياء لدفع أطفالهم أكثر من اللازم، بحيث تتحوّل القضية من توفير المساعدة إلى سبب إلحاق الضرر بهؤلاء الأطفال[392].

في خضمّ السباق التنافسي في هذه الحياة، ليس هؤلاء الآباء والأمهات على خطأ بأنّ الفوائد، التي يوفرونها لأطفالهم تساعد هؤلاء على النجاح. وهذا هو ما يدفع الأولياء إلى هذا المستوى من الحماس لحدّ تأمين بعض الأدوات الجينية لأطفالهم.

نتيجة للخلط بين عدد الاختبارات الجينية الحديثة المتوفرة للمستهكين حول العالم، فإنّ البعض منها، الذي يتزايد عدده بمرور الوقت، يخصّ الأطفال. فمثلا وفّرت شركة BabyGenes لذوي الأطفال معلومات عن 170 جينا من التي لها علاقة بالصحة. فبعد ارسال عينة من لعاب الطفل إلى المختبرات المختصّة في مختلف البلدان، يُشعَر الأولياء أنّ بإمكانهم معرفة حساسية

أطفالهم لمختلف أنواع الطعام وعادات الأكل والحساسية ضد آثار التدخين الثانوي والاستعداد للإدمان والنشاط المفرط، وإذا كان مزاج الطفل أفضل في النهار أم في المساء[393].

يبيّن الشكل على الصفحة التالية توزيع 46 جينا للمواهب والصفات المصنّفة والموزّعة على 8 مجموعات متميّزة. تضم الأولى الصفات الشخصية وفي طليعتها التفاؤل والمخاطرة والمثابرة والخجل ورباطة الجأش الخ. تضم الفئة الثانية معدّل الذكاء والاستيعاب والذاكرة التحليلية والإبداع والقدرة على القراءة والتخيّل. تشمل الفئة الثالثة الاستعداد للإدمان على الكحول والتدخين وغيرها من اشكال الإدمان على الأكل والعمل مشاهدة التلفزيون، الخ. الفئة الرابعة تشمل المواهب الفنية كالتمثيل والرسم والموسيقى والرقص والأدب واللغة. الفئة الخامسة مخصصة للمشاعر الشخصية كالإخلاص والشغف والغرام والوله وانعكاس الذات والسيطرة على النفس. الفئة السادسة تخصّ القدرات الرياضية كالتحمّل والعدو والحساسية للتدريب والميل للإصابات الرياضية. تشمل الفئة السابعة اللياقة البدنية بما فيها الطول والصحة العامة والسُمنة. أمّا الفئة الثامنة فتشمل صفات أخرى مثل وجود الحساسية ضدّ التدخين الثانوي أو عدمها.

MAP MY GENE'S 46 TALENTS AND TRAITS SPREAD ACROSS 8 DISTINCT CATEGORIES

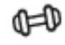

PERSONALITY TRAITS: Optimism, Risk taking, Persistence, Shyness, Composure, Split Personality, Hyper-Activeness, Depression, Impulsive, Mould-ability


EQ: Affectionate, Faithfulness, Passion, Propensity for Teenage Romance, Sentimentality, Sociability, Self-Reflection, Self-Control


IQ: Intelligence, Comprehension, Analytical Memory, Creativity, Reading Ability, Imagination


SPORTS: Endurance, Sprint, Technique, Training Sensitivity, Tendency for Sports Injuries, Sport Psychology


ADDICTION: Alcoholism, Smoking, General Addiction


PHYSICAL FITNESS: Height, General Wellness, Obesity


ARTISTIC: Performing, Music, Drawing, Dancing, Literature, Linguistic


OTHERS: Sensitivity to Second-hand smoke, Insensitivity to Second-hand smoke

Source: http://www.mapmygene.com/services/talent-gene-test/ (permission granted)

خارطة 64 جينا تتعلق بالمواهب والصفات موزّعة على 8 فئات

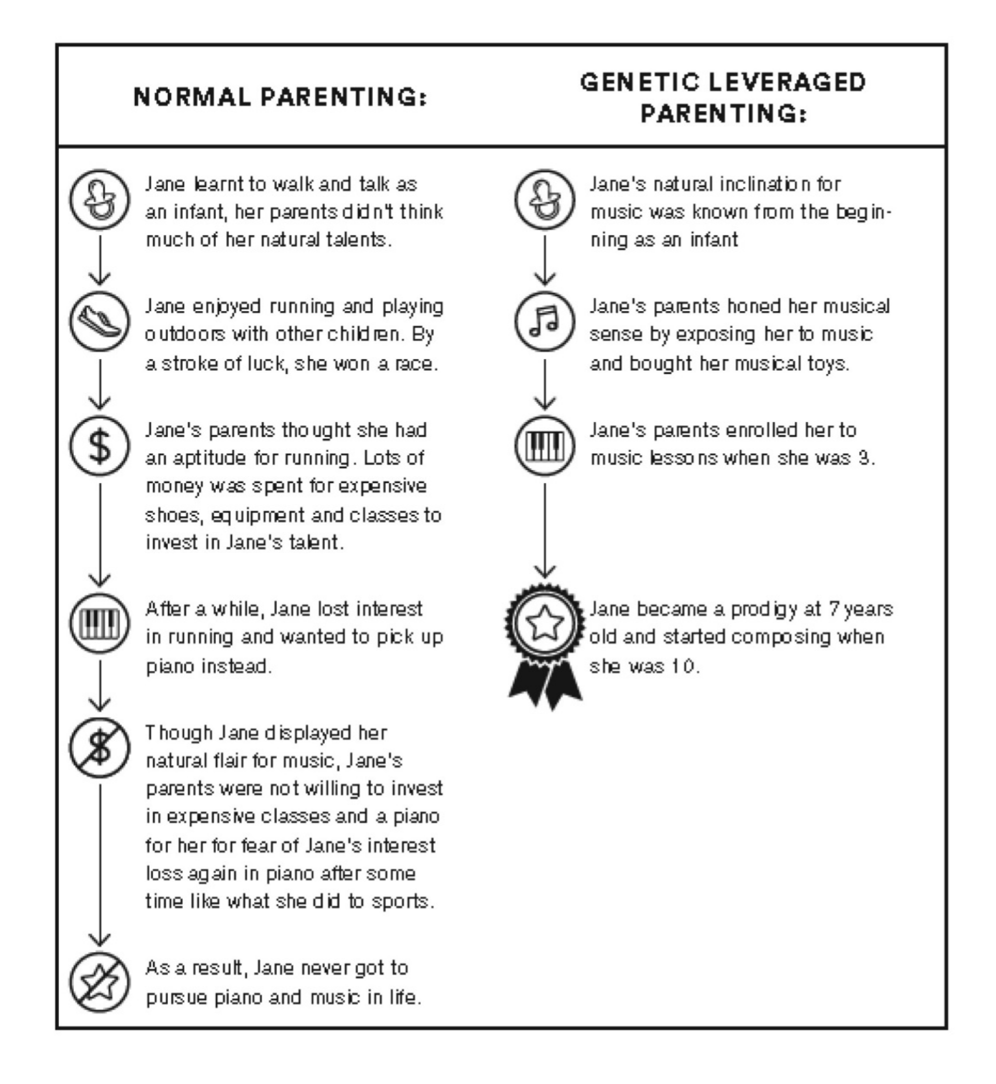
تُفتتح الآن في كافة أنحاء الصين «معاهد صحية» مشبوهة للتنبؤ بمصادر قوة الأطفال في المستقبل. أحد هذه المعاهد اسمه Martime Gene، الذي يزوّد أولياء الأمور باختبارات جينية يدّعي أنّها تكشف مواهب الأطفال للقيام بعشرين نشاطا، منها الرقص والرياضيات والرياضة. كما يدفع بعض الأولياء الصينيين ما مقداره 1500 دولارًا رسوما لاختبار جينات اسمه myBabyGenome، الذي يشير إلى 950 جينا لها علاقة بمخاطر الأمراض الوراثية و200 جينا تتعلق بالحساسية من بعض الأدوية و100 جينا ممّا لها علاقة بالخصائص البدنية والشخصية[394].

يُظهر الشكل التالي صورة منقولة من موقع شركة ماليزية اسمها Map My Gene. تعطينا هذه الصورة نموذجًا للمعلومات التي تقدّمها الشركة لأولياء الأمور. يظهر الجانب الأيسر **الرعاية الأسرية العادية** وفي الجانب الآخر **الرعاية الأسرية المحفّزَة بمعلومات الجينات**. تروي الرعاية الأولى قصة الصغيرة جَين، التي اظهرت قدرة على الجري وفازت في أحد سباقات الأطفال. فرح الوالدان واستثمرا الكثير من المال في شراء الأحذية الرياضية الخاصة والحاق الصغيرة في برامج تدريب مكلفة. غير أنّ جَين فقدت اهتمامها بالعدوِ واظهرت ميلا طبيعيا نحو الموسيقى. لكنّ والديها خافا أن تكون تلك نزوة أخرى، فأهملا الأمر ولم يشتريا لها بيانو. وهكذا حُرِمت الصغيرة من متابعة موهبتها الفنية مدى الحياة.

في المقابل هناك **رعاية أسريّة محفّزَة بمعلومات الجينات** لفتاة أخرى اسمها جَين أيضًا. أظهرت الصغيرة اهتماما وميلا للموسيقى منذ وقت مبكّر. شجع والداها تلك الميول واشتريا لها لعبا موسيقية. حين بلغت من العمر 3 سنوات سجّلاها لدراسة الموسيقى. في سنّ 7 أعوام أصبحت الفتاة جَين معجزة في ادائها، وبدأت تؤلف القطع الموسيقية وهي في سن 10 سنوات.

هذه الاختبارات الجينية في صورتها للوقت الحاضر مفيدة للغاية في تحديد مخاطر طفرة جينيّة واحدة، وليس التنبؤ بدقة بصفات عامة عديدة. غير أنّ ضغوط التنافس الهائلة التي يتعرّض لها ذوو الأمور للجوء إلى هذه التكنولوجيا غير المثبتة، التي على الأقلّ الآن لا يمكن الاعتماد عليها، جعلت بعض الحكومات تدرك هذا الأمر فبدأت التدخّل لحماية المواطنين. وبسبب الاعتقاد

بأنّ هذه الاختبارات ليست دقيقة بشكل كاف وأنّ عامة الناس لا يمكنهم فهم الكثير من البيانات الجينيّة، لجأت إدارة الغذاء والدواء الأمريكية



US FDA عام 2013، إلى منع إحدى الشركات مؤقتا، وهي شركة 23andMe، من تزويد المواطنين بالمعلومات الصحية التنبؤيّة حول احتمال إصابتهم بالأمراض الوراثية. أمّا في أوروبا وفرنسا وألمانيا فيوجد منع صريح لتزويد المواطنين بالاختبارات الجينيّة مباشرة[395].

غير أنّ هذا المستوى من الحذر، لن يكون دائمًا فعّالا بشكل كامل، في وقت أصبحت فيه الاختبارات الجينية أكثر تنبؤا عن طريق تقديم معلومات عن جينات متعددة تتنبأ بشكل أكثر دقّة بالصفات المعقدة، وأصبح المواطنون في ذات الوقت أكثر معرفة في كيفية التعامل مع المعلومات

المتوفرة لهم عنها. أظهر روبرت گرين، الطبيب في علم الوراثة في كلية الطبّ بجامعة هارفرد، وفريقه من الباحثين عن طريق سلسلة من الدراسات أنّ الناس العاديين بإمكانهم أن يتعاملوا مع البيانات الجينية المعقدة لو تمّ تثقيفهم بها بشكل مناسب[396]. يتطلب تقديم البيانات الجينية المعقدة لعامة الناس، برنامجا تثقيفيا كبيرا ووضع المعايير وإصلاح القطاع الطبي في البلاد. أظهر عمل گرين أنّ ذلك أمر بالمستطاع. إنّ توفير مثل هذه الاختبارات سيكون البداية فقط لارتفاع عدد الناس المؤمنين بتكنولوجيا الجينات، ومنهم ذوي الأطفال. هل أنّ الآباء والأمهات في كوريا الجنوبية وامكنة أخرى مِنَ الراغبين في ارسال أطفالهم إلى مدارس التعليم المكثف/المركّز، راغبون في اختيار الأجنّة المعزّزة لهذا التعليم والنجاح المرتقب الذي ينشده أولئك الأولياء؟ إذا كان باستطاعتهم أن يختاروا الأجنة، هل سيكونون مستعدين لقبول تعديل تلك الأجنة لرفع احتمالات الإصابة بالأمراض الوراثية تماما، وفي ذات الوقت تعزيز قدرات الأطفال للتنافس في المستقبل في جانب أو جوانب عديدة أخرى؟ إذا كان هؤلاء الأولياء الذين يبذلون الجهود العالية ويتحملون الكلفة الباهضة لتأمين المنافع لأطفالهم بعد الولادة، فهل ستكون خطوة كبيرة أن يقوموا بذلك ويوّفروا لهم المستلزمات النافعة قبل الولادة؟

إنّ أشهر معدّي برامج الكومبيوتر في العالم، وغيرهم من ذوي التخصّصات التكنولوجية ينتفعون من مجموعة من المزايا الوراثية الخاصّة مقارنة بزملائهم الآخرين في العمل. قد تكون تلك الكفاءة الوراثية هي إحدى عناصر هذا النجاح. وكذلك الحال في المجالات الرياضية، فإنّ التصميم والمثابرة والذكاء العاطفي والشخصية والعلاقات وحركة التوافق الجماعية، وأيضًا الحظ تلعب دورا كبيرا. غير أنّ الاختلافات في كلّ منها، بما فيها الاستعدادات الوراثية، قد تعني الاختلافات بين الكائنات والقبول بها والاعتراف بقيادة العالم في عدة مجالات خاصّة وبدونها.

نظرا لأنّ إمكانية تحقيق عالم متكافئ حتى ولو جزئيا عن طريق الجينات التي تقرر المستقبل، هي في الحقيقة أمر مخيف للعديد من الناس اليوم. ويترتب على ذلك أنّه يحقّ لأولياء الأمور أن يقلقوا بشأن مستقبل أطفالهم القائم على تكوين جيناتهم، التي سيتم تعديلها أو إزالتها، وما سيتركه ذلك على استقلال شخصية هؤلاء في المستقبل وقيمهم وإرادتهم الحرة. لهذه الأسباب ولغيرها، يختار غالبية الوالدين الإنسحاب جزئيا أو كليّا من مسائل اختيار الجينات والمساعدة في تحقيق الحمل ومسح الجينات واختيار الأجنة قبل زرعها وهندسة الجينات في أيّة مرحلة من مراحلها. لكنّ الخيارات في الإنخراط أو الإنسحاب أو عمل شيء بين بين، ستحصل ضمن كلفة

تنافسية يتحمّلها الآباء والأمّهات وعليهم المفاضلة فيما بينها، كما يحدث في حال اللجان الوطنية الأولومپيّة.

فالآباء والأمّهات الذين سينخرطون في عملية كاملة لرفع قوّة الجينات المفضلة، على سبيل المثال، يودّون التأكد من ازالة جينات أطفالهم الحاملة للأمراض الوراثية لكي يعيش أولئك الأطفال حياة أطول وأفضل وتتوفر لديهم الفرص للنجاح والتألق في أيّة مهمة يواجهونها في المستقبل. إذا كان أولياء أمور الطلبة ينخرطون في الحصول على تلك المنافع فذلك أمر جيّد، وباستطاعتنا أن نتصوّر تقدّما ملموسا. إنّ ولادة جيل معدّل الجينات، يكون بإمكانه تحقيق المنافع الضرورية للتأكد من فتح المجالات أمام أطفالهم والحصول على محفزات لهم وللأجيال القادمة في المستقبل. سيكون هؤلاء الأولياء راغبين في التأكّد من أنّ أبنائهم وبناتهم سيتزوجون من أفراد اجريت لهم تعديلات جينية مماثلة، وأنّ أيّ جيل جديد ستكون هندسة جيناته أكثر انسجاما لضمان التغييرات المتداخلة لعالمهم المعدّل وراثيًا.

ومن ناحية أخرى، فإنّ الآباء والأمّهات الذين يُقدِمون على المشاركة، ربّما يضعون لأطفالهم مستقبلا مليئا بالآلام مدى الحياة، إذا كان الأبناء غير راغبين في اداء المهام التي تمّت هندسة جيناتهم من أجل القيام بها بنجاح. نظرا لأنّ الجينات ليست هي العوامل الوحيدة للنجاح، فإنّ الأطفال سوف لن يكون أداؤهم جيّدا كما خُطط له أصلا. كما قد يظهر هناك ردّ فعل سلبي في المجتمع ضدّ الأشخاص المعدلين وراثيا أو تبرز امامهم مخاطر غير متوقعة لم يُفكّر بها أحد من قبل.

أمّا أولئك الذين ابتعدوا عن الموضوع برمّته، فإنّهم قد يكونون تسبّبوا في وضع أطفالهم في مرتبة الدرجة الثانية، وأنّه بفعل ذلك لن يتمكّن هؤلاء الأطفال اطلاقا في المستقبل مجاراة كفاءات الآخرين المعدلين وراثيا من زملائهم. إنّ الاختلاف في القدرات بين من اختار ذووهم المشاركة وبين من اختار ذووهم الرفض، وفق هذا السِناريو، سيزداد اتساعا بمرور الوقت. ستكون الحصيلة أناسا من طبقتين اجتماعيتين، كما صوّرهما *أيچ جي وَيلز* في روايته «آلة الزمن» Time Machine.

ومهما سيحدث، فإنّ التنافس سيدفع عجلة التقدّم إلى الأمام. وكما الحال بالنسبة للسلطات الرياضية والآباء والأمّهات ومواقف الحكومات، ستكون بينها دوافع تنافسية هامة كي تنظمّ آجلا أم

عاجلا إلى قافلة تعزيز الجينات وتحسينها.

* * *

بدا واضحا في عام 1944 أن الحلفاء سيكسبون الحرب العالمية الثانية، فبدأ المخططون الأمريكيون والحلفاء يتصوّرون أنّ عالما أفضل سيخرج من بين الأنقاض والدّمار الذي أصابه. نظرًا لأنّهم اعتبروا أنّ المغالاة في المشاعر الوطنية والسيادة المتزمّتة هما السرطان الذي قاد إلى حربين عالميتين، فعليه شرع أولئك المخططون بإقامة مؤسسات عالمية جديدة مثل منظمة الأمم المتحدة والبنك الدولي وحلف شمال الأطلسي لدعم الأفكار الجديدة للسيادة المشتركة والمسؤولية الجماعية. كما طرحوا مفاهيم جديدة مثل حماية حقوق الإنسان حول العالم، واللجوء إلى القانون الدولي من أجل الحدّ من الخلافات والمنافسات العدوانية الخطيرة في الغالب بين الدول.

في الواقع حققت تلك الخطط نجاحات تعتبر أحلامًا عجيبة. وضع المتنوّرون الأمريكيون المدفوعون بالمصالح الذاتية وبمساندة القوة العسكرية، الأطُر للسلم المتنامي والرفاهية التي شملت معظم مناطق العالم. عاش العالم خلال الحقب التي تلت الحرب، مستويات عالية من النمو الاقتصادي واتسعت ميادين الاختراعات والابتكارات من أجل رفاهية المواطنين عامة، أكثر من أيّة فترة زمنية في تاريخ البشرية. حدث هذا بالرغم من وجود الحرب الباردة على مدى حقب عديدة بين الاتحاد السوفيتي والولايات المتحدة.

عاش البلدان ومعهما مواطنوهما أجواء تنافس عالية تشابه عملية التطور البايولوجي، حيث كان التغيّر سيد الموقف ولم تمتد الأوضاع الراهنة إلّا لفترة وجيزة. وكما حدث في حالة الكائنات البايولوجية، التي حوّلت قدرات التطوّر إلى منافع تنافسية، عمدت الدول إلى دمج مواهب مواطنيها وهياكلها الحكومية ومصادرها الطبيعية جميعا في قوّة وطنية يمكن استخدامها لزيادة تعليم المواطنين وبناء مؤسسات حكومية أفضل أداء واستخراج المزيد من المصادر الطبيعية واكتساب الميزات على الآخرين.

بالرغم من أنّ المنظّر السياسي *فرانسِس فوكوياما* قد اعلن بأنّ «نهاية التاريخ» قد آنت، حين نظر إلى عام 1989 ورأى أنّ الديمقراطية اللِبرالية قد هزمت كافة الأنظمة الحكومية. وهي نظرية تهاوت على صخور التاريخ الطبيعي للمنافسات بين الدول[397]، إثر سقوط الاتحاد السوفيتي عام

1991 وحين برزت لحظة قصيرة بأنّ الولايات المتحدة، التي قادت العالم إلى الرقيّ، ظهر لها منافس آخر كان ينتظر عند منعطف الطريق.

للصين حضارة راقية دامت أكثر من 4 آلاف عامًا، لكنّها واجهت صعوبات جمّة في القرون الحديثة. فشلت الصين في تطوير ذاتها ونالت الهزائم في الحروب على يد أعدائها من الأوروپيين واليابان طيلة القرن التاسع عشر وحتى مطلع القرن العشرين. ثمّ حلّ بها الخراب المزلزل حين ارتفع فيها صوت المقاومة الوطنية بعد غزو اليابان لها خلال الحرب العالمية الثانية. وبعد أن قهرت القوات الشيوعية الحكومة «الوطنية» في الحرب الأهلية، فهربت إلى جزيرة تايوان. أصبحت البلاد في قبضة القوات الصينية الشيوعية عام 1949، أعلن *ماو تسي تونگ* أنّ الشعب الصيني وقف منتصبا بعد سنوات الهيمنة الأجنبية. غير أنّ هذه الوقفة بقيادة *ماو* كانت لها عواقب مدمرة وقعت بالشعب. في السنوات العشرين، التي تلت الانتصار الثوري، تسبّبت سياسات *ماو* في تدمير الصين وشعبها وأزالت من الوجود القاعدة الصناعية والتكنولوجيا الصغيرة في البلاد. وخلال سنوات الثورة الثقافية، التي بسطت نفوذها في ستينات وسبعينات القرن الماضي، أغلقت الجامعات وأبعِد العلماء إلى المناطق الريفية وتوقفت البحوث العلمية تماما.

حين توفى *ماو* عام 1976، تسلم السلطة في البلاد *دِنك شياوپِنگ*، فأعلن على الفور أنّ العلوم والتكنولوجيا هي عناصر الإنتاج الرئيسية، وأنّه يتوجب على الصين وضع الأسس الجديدة للنمو الاقتصادي، فإعيدّ فتح الجامعات واستعاد العلماء مكانتهم في المجتمع.

حين بدأت الصين تجني تدريجيّا ثمار هذه السياسة شعرت بالعقبات، التي فرضتها عليها السيطرة الأمريكية اقتصاديًا وسياسيًا وعسكريًّا، فحالت دون عودتها إلى **عصر المملكة الوسطى السامي**، الذي تمتعت فيه خلال حقبة من ماضيها. تطلب تحقيق مثل هذه الآمال استمرار النمو الاقتصادي. شعر قادة الصين الجدد بالحاجة إلى بناء قوة عسكرية لحماية مصادر المواد الأولية للتصنيع، ولكي تبسط سلطتها على الداخل وتُرهِب الأعداء الخارجيين المتربّصين بها. صرّح الرئيس الصيني شي جِنپِنگ حديثا أنّ تحقيق تطلعات الصين لاحتلال مكانتها التي تستحقها «كقوة دولية رئيسيّة» يمكن إنجازها من خلال «القوة الوطنية الشاملة والتأثير العالمي»، لكي يكون بمستطاعها بحلول عام 2050 أن تصبح قائدة العالم في تكنولوجيا المستقبل. وضعت الصين ذلك الهدف نصب عينيها وتجاوزت قدرات أشدّ خصومها.

قادت الولايات المتحدة العالم طيلة قرن كامل تقريبًا في الاختراعات والابتكارات العلمية وكانت لها الريادة في مجالات الطائرات النفاثة والفضاء والكومبيوتر والمعلومات والإتصالات والبايوتكنولوجي وعلم الجينات الوراثية، وغيرها من ميادين الثورات العلمية. قامت قيادة أمريكا للتكنولوجيا في العالم بفعل العديد من شركاتها التي نالت شهرة عالمية بما حققته، ووضعت أمريكا في المرتبة الأولى. في اللحظة التي انطلقت لتحقيق الجيل التالي من الثورة التكنولوجية، بما فيها الثورة في مجال الجينات، لم تظهر الصين ترددا وارتفع هاجسها الوطني كي لا تفوتها الفرصة ثانية.

حققت الصين «لحظة سپوتنِك السوفيتية» حين سجّل برنامجها DeepMind’sAlphaGo انتصارًا على أبطالها من البشر في لعبة Go. كان الصينيون ما زالوا يسعون جاهدين لإحراز التقدّم في الميادين الاقتصادية والعسكرية والسياسية لمواجهة النفوذ الأمريكي. أدركت القيادة الصينية أنّ تفوّقها في ميدان الذكاء الاصطناعي والتكنولوجيا المتعلقة به هو المفتاح لكسب هذه الجولة وبسط السيطرة على ميادين التكنولوجيا الأخرى والقوّة الوطنيّة[398]. نظرًا لأنّ التقدّم في ميدان الذكاء الاصطناعي مسألة رئيسية لكشف أسرار الجينوم، فإنّ لهذا التطلع تطبيقات ميدانية رئيسية في مستقبل هندسة الجينات البشرية.

ظهرت تطلعات بَيجينگ في شهر يوليو من عام 2017 حين كشفت خطتها التنموية للجيل القادم من الذكاء الاصطناعي. بدت هذه وكأنها استعارة مفتوحة من خطة إدارة أوباما[399] لعام 2016. غير أنّ ذلك دفع إجراءات الأمن القومي وما يتعلق منه بالذكاء الاصطناعي للمضي خطوة أبعد. «أصبح الذكاء الاصطناعي نقطة تركيز جديد للمنافسات العالمية»، كما ورد في تقييم بَيجينگ. وأنّ الصين، «يجب أن تمسِك زمام المبادرة الستراتيجية بقوة في المرحلة الجديدة للتنافس العالمي في تطوير الذكاء الاصطناعي، وخلق منافع تنافسية جديدة تفتح الباب لتطوير فضاء جديد يحمي بشكل فعّال الأمن الوطني». طرحت الوثيقة اهدافا عديدة منها أنّه ينبغي على الصين أن تكون في صف بلدان العالم القائدة في ميدان الذكاء الاصطناعي بحلول عام 2020، لأنّ الذكاء الاصطناعي سيكون «المحرك الأساسي» للنمو الصناعي بحدود عام 2025 وأن تصبح «المركز الرئيسي الأول في العالم في ميدان ابتكارات الذكاء الاصطناعي» وأن تكون «بحلول عام 2030 في موقع القيادة العليا في تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي[400].

أشارت خطة الحكومة الصينية للأعوام 2018 لغاية 2020 إلى دفع عمليّات تطوير جيل جديد من الذكاء الاصطناعي يجعل الصين في موقع القيادة، بالنسبة إلى ادخال استعمالاته في المجالات الصحية والروبوتات والتصنيع وصناعة السيارات، وغيرها من القطاعات الأخرى. اعتمدت الحكومة الصينية في ذلك على توجيه شركاتها الكبرى لتحقيق هذه الأغراض، وفي طليعتها شركات Alibaba وBaida وTencent من أجل بناء منصّات الابتكارات في مجال الذكاء الاصطناعي[401]. ولأوّل مرّة في تاريخ البلاد، تمّ توجيه رأس المال الاستثماري وظهور شركات للذكاء الاصطناعي عام 2017، بحيث أصبح عددها يفوق عدد الشركات الأمريكية في هذا الميدان[402].

وبفعل التركيز على تطبيقات الأمن القومي في ثورة الذكاء الاصطناعي، دعت الخطة الصينية المشار إليها إلى تطبيق ما سمّته «التعاون العسكري المدني لتطوير ستراتيجية تغطي كافة العناصر والمجالات ورفع كفاءة نماذج هذا التعاون»[403].

أمّا في الولايات المتحدة، ففي الوقت الذي أعلِنت فيه الخطة الصينيّة، كانت إدارة أوباما قد غادرت البيت الأبيض واحتل *دونلد ترامب* بزهوٍ المكتب البيضاوي. تطلب الأمر منه أن ينتظر مدة عام ونصف قبل أن يُعيّن مستشارا للشؤون العلمية يتولى مسؤولية البيت الأبيض فيما يتعلق بشؤون العلوم والتكنولوجيا OSTP، ولكن بقيت معظم وظائف هذه المؤسسة شاغرة[404]. اقترح الرئيس الجديد عام 2018 ميزانية اقتطع فيها تمويل جوانب رئيسية في معاهد الصحة الوطنية والإدارة الوطنية لشؤون المحيطات والفضاء والمؤسسة الوطنية للعلوم، وغيرها من الوكالات الحكومية المركزية ذات العلاقة ببحوث الذكاء الاصطناعي والعلوم بشكل عام. كما توقف اصدار تأشيرات الهجرة لذوي المواهب من الاختصاصيين الأجانب. من بين القضايا التي اعترفت حكومة *ترامب* بأهميتها لعلاقتها بالذكاء الاصطناعي، هو استحداث ما يُسمّى لجنة البيت الأبيض المختارة لشؤون الذكاء الاصطناعي في شهر مايو من عام 2018. ولكن لم يظهر لحدّ الآن شيء ملموس عن نتائج نشاط هذه اللجنة[405].

في ضوء عدم التركيز الحكومي الأمريكي لمساندة تكنولوجيا المستقبل، شرعت الصين من جهة أخرى في منافسة قوية لاحتلال مركز القيادة في كشف رموز الجينوم والتبشير ببزوغ مرحلة الطب الدقيق وتحقيق تطلعات البلد الستراتيجية الواسعة. من الأدلة على التزام الصين في كسب هذا

السباق في علم الجينات المتقدم والطب الشخصي في كلّ مكان، أعلنت حديثا عن خطتها لتأسيس قيادة وطنية تتولى أمور الطبّ الدقيق[406] مثلًا، وهو جهد تقازمت أمامه مبادرات إدارة أوباما المحدودة، التي جاءت إدارة *ترامپ* فعرقلتها أو ألغتها بالكامل[407]. رغم أنّ الشركة الأمريكية Illumina حافظت على موقعها كقائدة في صنع الأدوات المتقدمة لوضع تسلسل الجينات، فإنّ الصين أصبحت وبشكل متسارع القوة المسيطرة على جمع البيانات الهائلة، التي يمكن أن تدفع إلى المرحلة القادمة لفهم كيفية عمل الجينات عن طريق تحليل تلك البيانات.

لا تزال قدرات البحوث العلمية الأمريكية هي الأفضل في العالم، لكنّ منشورات المتخصصين في المجلات الطبية الرائدة، قد تضاعفت بفعل منشورات البحوث الصينية، وأنّ الدائرة الأمريكية لتسجيل براءات الاختراع patents قد افادت أنّ نسبة الاختراعات والابتكارات التي سُجّلت باسم الصين قد زادت بشكل مذهل قدره حوالى 30% سنويا، وهو اسرع بكثير من الابتكارات والاختراعات الأمريكية[408]. وليس هذا بالأمر المفاجئ، فقد زادت الصين ميزانية البحوث والتطوير بمقدار 15% سنويا خلال الحقبتين الماضيتين. وهي تحتل بهذا المركز الثاني، ولا يزال استثمارها أقلّ ممّا هو في الولايات المتحدة. لكنّه يفوق استثمارات دول الاتحاد الأوروپي مجتمعة. كما أنّ الصين تمنح شهادات الدكتوراه في العلوم والهندسة أكثر من أيّ بلد آخر[409].

بسبب هذه الاستثمارات الهائلة في العلوم والقواعد الصناعية، فإنّ الولايات المتحدة والصين ما زالتا في صراع متزايد لأجل الفوز في ميداني الاقتصاد والعلوم لتكونا مركز ذلك في المستقبل. ستؤثر هذه المنافسة على تقدّم التكنولوجيا وإحداث ثورة في ميداني الذكاء الاصطناعي والجينوم بطرق متسارعة. «في عصر الذكاء الاصطناعي، فإنّ احتكار هذا الصراع بين المتنافسين الأمريكيين والصينيين أمر لا يمكن الحيلولة دونه»، حسب ما صرّح به *كاي فو لي*، مؤسس شركة Sinovation Ventures التكنولوجية، التي تتخذ بَيجينگ مقرا لها، وهو الذي شغل قبل ذلك منصب الرئيس الإداري لشركتي مايكروسوفت وگوگِل. أضاف *لي* يقول، «لقد بدأ هذا الصراع فعلًا»[410]. وكما كتبت *ألينور پاولز* و*پراثيما فِدراتي* حديثا، «فإنّ العلاقة الأمريكية الصينية سوف لن تُقرر بملكية صناعات القرن العشرين، ولكن بزيادة السباق في ميداني الجينات وابتكارات الكومپيوتر، اللذين سيقودان السباق الاقتصادي في المستقبل»[411].

يعود بعض هذا التنافس بالخير على البشرية جمعاء، بسبب معدلات النمو العالية والسريعة والتقدم، الذي يتحقق من خلال هذه المنافسات. قد لا يحصل البعض على شيء من هذا، في حين أنّ بعض الشركات والمجتمعات والأفراد سيفقدون بعض قوتهم وحصصهم في الأسواق، وربّما حتى استقلاليتهم، في حين أنّ البعض الآخر ينال كلّ ذلك. بسبب الثروة والقوة التي ستتجمع لدى بعض البلدان، فإنّ الشركات والأفراد الذين قادوا الثورات، التي لا يمكن التنبؤ بها، قد تجعل السباق يستمر لبعض الوقت. الشركات والبلدان، التي توصلت لفهم أسرار بعض الأمراض مثل السرطان، وآلاف غيره، قد تصبح لديها القدرة على معرفة، وبالتالي إمكانية تعديل الصفات الوراثية، ليس فقط في المجال البايولوجي، الذي عرضته شركتا گوگِل وعلي بابا. ربّما قد يكون بمستطاعها أن تصبح لها قوة المغول وتأثيرهم في القرن الثالث عشر والبريطانيين في القرن التاسع عشر والأمريكيين في القرن العشرين.

وكلما استمرّ تنافس هاتين البيئتين في مجالات الابتكارات والاختراعات، سيكون لكلّ منهما مجموعة فريدة من نقاط القوة والضعف. ستقرر هذه كيف سيستمر هذا التنافس وتأثيره على التطبيقات الخاصّة بتكنولوجيا الجينات.

على سبيل المثال، سيكون لدى الصين بيانات هائلة عن الجينات، لأنّ عدد سكانها أكبر وهي تجمع عينات البيانات بشكل أنشط ولأنّ التعليمات السرية بخصوصية الجينات وحمايتها في أمريكا وأوروبا صارمة. يمكن أن يساعد هذا في مساندة الرأي العام لبحوث الجينات وتطبيقاتها، أو أنّها تخلق عقبات أمام الباحثين الأمريكيين والأوروپيين، لمجاراة ما يحصل عليه زملاؤهم الباحثون من البيانات ويستخدمونها بلا قيد في الصين[412].

وكلما استمرّ هذا التنافس، فإنّ شركات وطنية ستظهر للوجود، وكما ستظهر شركات تشابه التكنولوجيا الأمريكية FAAMG مثل فَيسبُك وأبِل وأمزون ومايكروسوفت وگوگِل. لدى الصين الآن مجموعة تكنولوجية مختصرها BAT، التي تضمّ بايدو وعلي بابا وتَنسَنت. كما أنّ بعض الشركات الأمريكية من قبيل IBM والصينيّة iCarbonX، تُهيء نفسها لتنظمّ إلى المجموعتين المذكورتين في أعلاه.

تعمل شركة iCarbonX التي أسسها المدير السابق لشركة BGICEO، *وانگ جُن* في شهر اكتوبر لعام 2015، «لبناء نظام بيئي لحياة رقمية تعتمد على مزيج من المعلومات الشخصية

البايولوجية وبيانات السلوك وعلم النفس والإنترنَت والذكاء الاصطناعي»[413]. إنّ الدمج الشامل لبايولوجية الفرد والمعلومات المتجمعة عنه باستعمال تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي، فإنّ مثل هذه الخطوة ستساعد الزبائن أن يفهموا أكثر العوامل الطبية والسلوكية والبيئية في حياتهم من أجل تحسين صحتهم ومساعدة الشركات لاستخدام البيانات الجينية، التي تقدّمها والأجهزة التي تبنيها. ترمي خطة *وانگ جُن* في النهاية إلى وضع «صورة رمزية رقمية تنبؤية» Predictive Digital Avatar لمئات الملايين من الزبائن[414] تسمح لهم بالمرور من مرحلة تسلسل الجينوم إلى «ترقيم ذواتهم»[415]. «باستطاعتنا ترقيم المعلومات الحياتية للفرد»، حسب تصريح *وانگ جُن*. «من خلال تفسير البيانات والتوصل إلى مزيد من قوانين الحياة الثمينة، يكون بمستطاعنا تحسين نوعية حياة الناس»[416]. وعن طريق دمج شركة Tencent والشركة الخاصّة Sequoia حسب طلب المستثمرين الأوائل، إضافة إلى ما حققته شركة iCarbonX بسرعة حين ارتفع مقدار رأسمالها إلى بِليون دولارًا، أصبحت هذه الشركات اعجوبة Unicorn الصين في ميدان البايوتكنولوجي[417].

إنّ هذا الاندماج الناجم عن ضغوط التنافس على الأفراد والشركات والقوى الاجتماعية، سيدفع الحدود حول استخدام الأدوات الجينيّة والتشاور لزيادة سعة المنافع بالنسبة للأفراد والشركات والبلدان، التي تسعى لتحسين منافعها والتطبيقات العلمية لتحقيق ذلك. وفي الوقت الذي تدفع فيه هذه الضغوط التنافسية على الاستمرار لقبول تكنولوجيا الجينات، فإنّ ضغوطا مشابهة لها أهمية علمية هامة، ستدفع إلى صراعات داخلية وكذلك بين المجتمعات والحكومات، التي تتولى شأنها.

* * *

لو تصوّرت أنّك قائد لمجتمع ما اختار ألّا يُساهم في السباق العالمي للجينات عن طريق منع اختيار الأجنة وتعديل الجينات، نظرا لأنّ بلدك متقدّم بما فيه الكفاية لحدّ تصل فيه إلى اتخاذ قرار جماعي من هذا القبيل، وأنّ الأشخاص الراغبين بمثل هذه الخدمات، فلهم الحرية أن يذهبوا أين يشاؤون للحصول على ما يريدون. لكنّ منع التعديلات الجينية بين سكّان بلدك يتطلب بالضرورة تحديد التحسينات الجينية داخله، ومنع الأمهات اللواتي حصلن على تغيير جينات الأجنّة التي يحملنها، من دخوله.

من أجل حماية السلامة الجينية لسكان بلدك وعدم السماح للحوامل من ذوات الجينات المعدلة من دخوله، يتوجّب عليك إجراء فحص جيني على كافة النسوة الحوامل اللواتي يحاولن

الدخول إلى بلدك. ولكن لا توجد طريقة لمعرفة إن كان الجنين معدّلا بدون معرفة خط الأساس الجيني، أي الجينوم قبل إجراء أيّ تعديل. بالنسبة لبعض النسوة، اللواتي حصلنا على معلومات عنهن قبل أيام من حصول الحّمل، يمكن حينها أن نجري المقارنة بين جيناتها السابقة وجيناتها الحالية. إنّ أيّة امرأة غير قادرة على تقديم معلومات جينية أساسية سوف تُمنع من دخول البلاد، أو تتعرض للتهديد بالسجن لفترة طويلة، لأنّها حملت بمواطن غير مرخّص به!

ولغرض منع النسوة من السفر إلى الخارج بقصد تعديل أجنتهنّ وراثيا قبل زرعها، فإنّ اختبارات الحمل يجب أن تجرى لكافة الأناث البالغات سنّ الرشد قبل دخولهن البلد. كما يجب أن تجرى فحوص الدّم قبل الولادة على النساء الحوامل لمعرفة إن كان جرى تعديل أجنتهنّ بشكل أو بآخر. وحتى مع توفر قائمة بالتعديلات الجينية الأكثر شيوعًا[418]، فإنّ مثل تلك الفحوصات مستحيلة. ولكي تكون فعّالة فإنّ فحوصات الدم يجب أن تكون مصحوبة باختبارات الصّدق Polygraph وإخضاع النسوة لها والاستفسار منهنّ إن كانت الأجنة، التي يحملن بها، معدّلة وراثيًا.

وإذا تمّ اكتشاف امرأة حامل بجنين معدّل وراثيًا وهي في داخل البلاد، فما هي العقوبات التي ستُنزل بها؟ وحتّى لو جُرّدت من جنسيتها وابعِدت إلى الخارج لتلد في بلد آخر، فيجب سجن الطفل ومنعه من التزاوج في المستقبل أو ابعاده من البلد. يتطلب سنّ فرض مثل هذه العقوبات آلية تُعتبَر من أشدّ أنواع الأنظمة الشمولية قسوة وتدخّلا في حياة المواطنين وسياسة بغيضة صريحة تعطي للدولة الحقّ في متابعة تحرّكات المواطنين والمراقبة المستمرة لحياتهم البايولوجية وحياة أطفالهم.

لنفترض أنّ بلدك قد لجأ لكافة الأساليب المذكورة أعلاه وأصبح سكّانه غير معدّلين جينيًّا. لقد شرحنا لماذا تتقبّل بعض الدول استخدام التكنولوجيا المتقدمة لهندسة الجينات بمعدّلات تختلف من بلد لآخر اعتمادًا على أسس هامّة، تاريخيّة وثقافيّة وهيكليّة. لنفترض أنّك تقيّم خيارات بلدك في عالم عزلته عنه، في حين مضت بلدان أخرى قدُمًا في تعديل الأجنة وتحسينها. ستكون أمامك الخيارات التالية.

الخيار الأول: تدرك أنّ بلدك قد اتخذ قرارًا أخلاقيًا يقوم على قيم المجتمع، وتقبلت مواجهة العواقب، حتى وإن كان بلدك سيخسر تدريجيًا قدرته على المنافسة، وأنّ الأجيال القادمة ستكون أسوأ صحة وتعيش عمرا أقصر وسيكون بينها القليل فقط من الأبطال في كافة المجالات. تجلس

باطمئنان وتفكّر أنّك اتخذت القرار الصائب. ولكن ستكون في قلبك غصّة. أنت تأمل أنّ قرارك الوطني سيعطيك قدرة تنافسية، حين تثبت الجينات البشرية المعدّلة بأنّها أقلّ نفعا وأكثر خطورة عمّا كان يُعتقد ويُقال عنها أصلا. نظرا لأنّ بلدك قد اتخذ موقفا قويّا ومبدأيّا بصدد هندسة الجينات، ستشعر أنّك ملزم بأن تحفظه ضدّ أيّ شكل من أشكال التسرّب. أنت شخص تقدّمي في مشاعرك القلبية، لكنّك تعترف بأنّك بحاجة إلى إجراءات تجعل حكومتك بوليسية قمعيّة من أجل المحافظة على نقاء جينات المواطنين. تعود وتسأل نفسك وأنت في الفراش مساء، فيما إذا كان شخص مثاليّ مثلك بدأ يتقبّل لغة النازيّة؟

الاختيار الثاني: تحاول التشبّث بموقفك والإلتزام بالقرار الوطني لبلدك، لكنك تشعر بتزايد الضغط. العديد من مواطني بلدك الموهوبين يغادرون للحصول على خدمات تعزيز الجينات التي يبتغونها، وأنّ أبطال الرياضة الطموحين ومعدّي برامج الكومبيوتر في بلدك يتصدّرون الآن مجموعات تنظيمية، والممرضون والممرضات ينخرطون في مهن لا تتطلب منافسة مع أشخاص ذوي جينات معدّلة. الأزواج والزوجات يعيدون النظر في المنع، الذي أصدرته، وهم يسمعون أنّ الأطفال في البلدان الأخرى لديهم مناعة ضدّ الأمراض الوراثية وأنّ أدائهم أفضل في اختبارات معدّل الذكاء ويبدو أنّم يتمتعون بصفات هي حقيقة مفاخر خارقة. حتى العسكر في بلدك بدأ يساورهم القلق حول مستقبل جنودك الأقلّ قدرة مقارنة بجنود عدوّك، الذين عُدّلت جيناتهم. كما أنّ قادة برنامجك لاكتشاف الفضاء جاءوا ليخبروك أنّ رواد الفضاء في بلدك يختلفون عن رواد فضاء البلدان الأخرى، الذين عُدّلت جيناتهم. فهم لا يستطيعون تحمل التعرض للإشعاعات النووية وأنّ صلابة عظامهم ستلين إذا بقوا فترة طويلة في الفضاء. عدم المساهمة في برامج تعديل الجينات وتحسينها يُصبح غير جذّاب. أنت تحتاج إلى إجراء بديل يحفظ ماء الوجه. تقترح إجراء تصويت حول الموضوع، فيحتدم النقاش بين المؤيدين والمناوئين. وفي يوم الانتخابات تدلي بصوتك بالموافقة على إجراء التعديلات والتحسينات الجينية.

الاختيار الثالث: ترى الفوائد الجمّة لتعديل الجينات وتحسينها، لكنّ المواطنين من حولك لا يزالون يعتقدون أنّ الجينوم البشري وإعادة كتابة القوانين البايولوجية شكل من اشكال الغطرسة، يقود إلى أمور لا تُحمد عقباها. وكمسألة مبدأ، فإنّ المجتمعات كالأفراد فيها مختلفون ومتنوعو النزعات والمشارب، ولا تعنيهم خيارات المجتمعات الأخرى في كافة الميادين. إذا استطاعت المجتمعات الأخرى تعديل وتحسين جينات أفرادها، ولم يحصل ذلك في بلدك فسيضعك ذلك في

المستقبل في موقف غير المستفيد. وربّما لن تقدر على حماية سكان بلدك، من نفس الشيء الذي عارضوه بقوة. فكما جرى في قضية المحاصيل الزراعية المحسّنة، أنّها انتقلت إلى الحقول المجاورة، وأنّ البعوض المزوّد بالجين قد انتشر هو الآخر عبر الحدود. سوف لن يكون بمقدورك حماية مواطنيك من وراثة ما تراه تعديلًا غير طبيعي للجينات، ما لم يكن باستطاعة البلدان الأخرى حماية نفسها من تلك التعديلات الواضحة جدّا. الخيار الوحيد أمامك، ليس فقط عدم المشاركة، ولكن تحديد وتشجيع ووضع القيود لتحسين الجينات بموافقة كافة البلدان والعمل بموجب ذلك. تعود إلى مستشاريك وتطلب رأيهم في كيفية تحقيق الأمر.

إنّ أوّل شيء على قائمتهم، هو محاولة استخدام قوة البلد الإقناعية لكي يتفق معك المواطنون والبلدان الأخرى حول العالم، بأنّ الجوانب السلبية لتحسين الجينات البشرية تفوق المنافع المرجوّة منها. السؤال هو، ما هي فرص قدرتك على اقناع كافة العالم أن يتقبّل فكرتك التشاؤميّة، خاصّة وأنّ المجتمعات الأخرى تتسابق بحماس للمضيّ قُدُما نحو عصر الجينات.

ثانيا، باستطاعتك أن تبني تحالفا مع البلدان التي تشاركك الرأي من أجل ممارسة الضغط على البلدان الأخرى للحدّ من التحسينات الجينية. إنّ الوصول إلى اتفاقية عالمية يمكن فرضها للحدّ من التحسينات الجينية، بديل جذّاب لكنّه صعب التحقيق. يتفق غالبية قادة العالم أنّ تغيّرات المناخ الناجمة عن ممارسات البشر تهدّد بقاء كوكبنا على قيد الحياة. لكنّنا لم نستطع لحدّ الآن أن نتوصّل إلى اتفاقية دولية يمكن فرضها لنغير مسار هذه الكارثة. هلّ أنّ الجهود العالمية للحدّ من استعمال تكنولوجيا يرغب فيها العديد من الناس والدول، ستكون أكثر فاعلية من الجهود الواضحة للحدّ من حدوث التغيّرات المناخية؟

ثالثا، لقد حدّدت البلدان، التي يجري فيها تحسين الجينات وأنّك قلق بشأنها. إذا كانت لديك القوة والتأثير لوقف ما تقوم به، ليكن ذلك مثلا للآخرين. أحد بلدان آسيا الوسطى على وجه الخصوص، أصبح المركز الرئيسي لإجراء التعديلات الجينية قبل زرع الأجنة في أرحام الأمهات من أجل خلق جيل فائق من البشر يتميز بقدرات خارقة[420419]. يبعث الأزواج والزوجات البويضات والحيامن المجمّدة أو رُقعا من الجلد وعيّنات من الدم، التي يمكن استخدامها لخلق وتوليد خلايا الجنس sex cells، إلى الولايات المتحدة لخلق أجنّة يمكن الاختيار فيما بينها والمزاوجة وتحسين الجينات. بالنسبة لرأي بلد يقع في وسط آسيا، فإنّ قيام مثل هذه المحاولات ضرورة أخلاقية

وفرصة لا تعوّض للعمل ستؤدي إلى نعمة ستراتيجية. ستطلب منهم بطريقة وديّة أن يتوقفوا عن فعل ذلك، وستلقى منهم الرفض. ربّما ستحاول إيجاد عدد من البلدان التي تتفق معك على وضع قيود سفر وفرض عقوبات اقتصادية ضدّ ذلك البلد. وإذا كانت هذه الإجراءات غير مجدية، فهل لديك استعداد لاستخدام القوّة العسكرية لوقف تعديل الجينات البشرية؟ لا شكّ أنّه خيار مفتوح.

قامت على مرّ القرن العشرين 170 دولة بغزو دولة أخرى تحت ستار العديد من الأعذار، تفاوتت ما بين الاستيلاء على الأراضي وسرقتها أو لأسباب عقائدية أو القيام بهجمات استباقية للتعامل مع تهديدات مزعومة[421]. فهل سيكون غريبًا أنّ بعض البلدان في المستقبل قد تلجأ إلى استعمال القوة العسكرية لمنع بلدان أخرى من تغيير الشفرات الوراثية البشرية المتفق عليها؟ قامت بلدان بغزو بلدان أخرى لأسباب أقلّ أهمية من ذلك.

ستكون القوة العسكرية هي البديل إذا استمر استخدام تكنولوجيا الجينات المتقدمة في بلد ضعيف نسبيّا أو جرى ذلك في سفينة عائمة في المياه الدولية أو في طائرة في الجو. ولكن ماذا يحدث حين تأخذ دولة قوية كالصين زمام المبادرة في استخدام تكنولوجيا الجينات المتقدمة لتحسين قدرات سكانها، في حين أنّ بلدانا أخرى، لنقل الولايات المتحدة، قد تخلت عن الموضوع برمّته لأسباب سياسية أو غيرها؟ هل أنّ الدولتين مستعدتان لاستخدام قوة كبيرة بصدد احتمال تغيير قدرات البشر، بنفس التهديد الذي يواجهان فيه بعضهما البعض حول الشعاب المرجانية المتنازع عليه في بحر الصين الجنوبي؟[422].

لو كانت كافة هذه الضغوط التنافسية على المستوى الشخصي والمجتمعي والوطني نادرة في تجربتنا البشرية، لكان باستطاعتنا القول بأنّ مثل الصدامات المشار إليها يمكن تحاشيها في سياق ثورة الجينات. ولكن نظرا لأنّ التنافس هو في لبّ كلّ عملية تطور على مدى 4 بلايين عامًا، فإنّ الصعوبات الجمّة هي نفس العوامل، التي ستدفعنا قُدُما وبشكل متفاوت كجماعات نحو عالم شجاع جديد تزداد فيه هندسة الجينات البشرية اتساعا وتعقيدًا.

إنّ الضغوط التنافسية، التي تدفع هندسة الجينات البشرية قدما ستجعل احتمالات الصدامات المتوقعة في هذا التنافس تحدث لا محالة. إذا لم نقم بأيّة محاولة لتطبيق أفضل قيمنا للتأثير على الدور الذي ستلعبه ثورة الجينات، فإنّنا سنضع أنفسنا في الطريق إلى هذا الصراع. وإذا اردنا

تحاشي أسوأ احتمال، فالمطلوب منّا نحن البشر، أن نعمل سويّة، كما لم يحدث من قبل، من أجل الإنتفاع من تكنولوجيا ثورة الجينات كي نختزل إلى أقصى قدر ممكن المخاطر المتوقعة.

الأخبار السارة أنّنا حاولنا عمل مثل هذا في السابق. الأخبار السيئة، إنّنا لم ننجح في ذلك إطلاقا.

الفصل الحادي عشر

مستقبل البشرية

عرف علماء الذرة الأوائل الطبيعة الخلاقة والمدمّرة في ذات الوقت لما كانوا يقومون بإعداده. «إنّ شطر الذرة قد غيّر كلّ شيء ما عدا طريقة تفكيرنا»، حسب ما كتب *آينشتاين* بعد أن أسقطت الولايات المتحدة القنبلة الذرية على مدينتي هيروشِما ونَگزاكي. كانت تلك بداية الحرب الباردة. أضاف *آينشتاين* يقول، «ثمّ انجرفنا نحو كارثة لا مثيل لها». بنفس الطريقة، التي يمكن فيها للقوة الذرية أن تبني لنا مستقبلا جيّدا، فإنّ السلاح الذري يمكنه أن يقضي علينا جميعًا.

لقد أدرك قادة أمريكا عقب الحرب، الوعد المزدوج وخطر القوة الذرية. برغم أنّ أمريكا قد امتلكت احتكار السلاح الذري في نهاية الحرب العالمية الثانية، دعا بعض مسؤولي البلد الكبار بوجوب مشاركة السوفيت واطلاعهم على الأسرار الذرية، تفاديا لأيّ سباق عسكري خطير. وفي نفس الوقت دعا بعض واضعي ستراتيجية وزارة الخارجية، وفي طليعتهم جورج كَنن، إلى أن تستعمل الولايات المتحدة تأثير الاحتكار النووي من أجل مقاومة العدوان السوفيتي.

بعد أن اقترحت الولايات المتحدة وجوب وجود سيطرة دولية على المواد الذريّة وفرض تفتيش على كافة المواقع الذرية في العالم والمساهمة الفعالة في تطوير التكنولوجيا الذرية للأغراض السلمية، رفض السوفيت تلك المقترحات وفجّروا قنبلتهم الذرية الأولى في شهر أغسطس من عام 1949. كان ذلك إيذانًا ببدء سباق التسلح النووي. اختبر البريطانيون قنبلتهم الأولى عام 1952 ولحقهم الفرنسيون عام 1960 وجاء الصينيون اخيرا في عام 1964. وهكذا أصبح عالمنا بسرعة ساحة تحفّ بها المخاطر المتزايدة جراء هذا السلاح.

حصل تقدّم بسيط في الجهود العالمية المبذولة لإيجاد توازن بين المصالح المشروعة في الحصول على الطاقة الذرية وبين الخطر الوجودي الذي سيجلبه سباق غير محدود في ميدان السلاح الذري. كان ذلك في فترة الستينات حين بدأت المفاوضات من أجل وضع معاهدة حول التسلح الذري. تمت المصادقة على تلك المعاهدة عام 1970 وسُمّيت **معاهدة الحدّ من انتشار الأسلحة الذرية** NPT. حققت هذا المعاهدة هدفين أساسيين. أوّلا، إنّها وضعت الأسس لعدم انتشار هذا الأسلحة خارج اطار البلدان الخمسة، التي تمتلكها في حينه، وهي بريطانيا والصين وفرنسا والولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي. ثانيا، وضعت المعاهدة عددا من الحوافز لتشجيع الدول الأخرى على عدم تطوير السلاح النووي مقابل التعهّد بتقديم المساعدة لها لبناء قوّة نووية للإغراض السلمية.

منذ التصديق على معاهدة NPT، فإنّ الحدّ من انتشار الأسلحة الذرية ما كان كاملا. من جهة أخرى، شهد العالم سباقا حادّا كان يخشاه الجميع. إنّ الحصول على السلاح النووي من قبل دول لم تمتلكه من قبل، ظلّ أمرا هامّا، رغم أنّه أصبح من المحرّمات من أجل حماية الإنسانية. ومع ذلك، توجد اليوم لدى الولايات المتحدة وروسيا كمّيات هائلة من الأسلحة النووية كافية لتدمير العالم عدّة مرات. كما جرى غزو ليبيا ويوكرَينيا، رغم تخليهما عن برامجهما للتسليح النووي. وفي نفس الوقت حصلت إسرائيل والهند وپاكستان وكوريا الشمالية على السلاح النووي في خلاف صريح لنصوص معاهد عدم انتشار هذا السلاح NPT. كما أنّ خطر اندلاع حرب نووية عالمية يتزايد كلّ يوم. ليس من الصعب أن نتصوّر وجود نظام يحدّ من سباق التسلح النووي، يعمل بشكل أفضل. ومع ذلك، فإنّ العالم أحسن رغم نواقص النظام القائم.

حين بدأتُ التفكير منذ عدة سنوات كيف أنّ أسوأ الأخطار يمكن أن تنجم عن ثورة الجينات وأفضل السبل لمنعها، كنت اعود دائمًا إلى مثال السباق للتسلح النووي.

وكما هو الحال بالنسبة للسباق المذكور، فإنّ التنافس العالمي في ميدان الجينات وبالأحرى السباق العالمي للتسلح بالجينات، له احتمالات عدة، إمّا لتحسين حياة الناس أو إلحاق الأذى بهم. كلا الاحتمالين يمثل قدرات تكنولوجية تمّ تطويرها في البلدان المتقدمة جدّا، فأصبحت مرغوبة ومطلوبة في كافة أنحاء العالم، المتطلعة إلى امتلاكها. إنّ امتلاك السلاح النووي من قبل أحد البلدان قد يزيد من قوة ذلك البلد، لكنّ امتلاكه أصلا من قبل عدد كبير من البلدان، فأمر يهدّدنا جميعا. ينسحب نفس

المنطق على هندسة الجينات والاحتمالات، التي يمكن أن توفرها لمساعدة الإنسانية بشكل عامّ. غير أنّ سباقًا غير مقيد للحصول على الجينات وتعديلها يمكن أن يلحق أضرارًا جمّة بهذا العالم.

تبدو فكرة تنظيم الحصول على تكنولوجيا الجينات، التي تأتي بالعجائب، والتي يقوم بها الباحثون حول العالم، مدفوعين بأنبل النوايا، للوهلة الأولى فكرة خاطئة. وكما نعرف جميعا، فإنّ العصر النووي بدأ بتدمير مدينتي هيروشِما ونَگزاكي، فتمّ بذلك تحقيق الشرور قبل المنافع. لقد بدأت ثورة الجينات في مختبرات البحوث، حيث وجد العلماء علاجات لأشدّ الأمراض فتكا وساعدت عيادات الإخصاب المختبري الكثير من العائلات أن يولد لها أطفال اصحاء. إنّ مخاطر هندسة الجينات البشرية ما زالت فرضية يمكن أن تتحقق في المستقبل.

يبدو الأمر جذابًا لبعض اللبرالتيريين والمفكرين بمستقبل البشرية على المدى البعيد، من ناحية عدم تدخّل الحكومة بالقضايا العلمية خلال الفترة الأولى لظهور ثورة الجينات. غير أنّ هذا التفكير ليس صحيحا. ببساطة، سيكون الأمر خطرا على الجميع إذا شرع من هبّ ودبّ على خلق شفرات بايولوجية للحياة على الأرض بدون قواعد للتحكّم بالعملية. سيُفسح المجال أمام ثورة الجينات وأكثر أدواتها قوة لتكون في متناول أيّ شخص، فهذه مسألة مخيفة من وجهة نظري.

اعتقدت معظم الدول الموقعة على معاهدة NPT أنّ التنازل عن حق امتلاك السلاح النووي يجري مقابل تلقي المساعدة لتطوير الصناعة النووية المدنية لأغراض السلام، لأنّ امتلاك كافة البلدان الراغبة والقادرة عل دفع كلفة هذا السلاح سيضع العالم في خطر لا يمكن وصفه. بالإمكان اتباع نفس الأسلوب في مسألة هندسة الجينات. تحتاج البلدان أن تشعر بأنّها يجب أن تتنازل عن إمكانية تعديل الجينات بشكل غير محدود أو مقيّد مقابل حصولها على ضمانات تخصّها وتخصّ العالم بأن يقتصر تطوير هذه التكنولوجيا لأغراض المنفعة العامة للجميع. قد يبدو الأمر أنّه اقتراح مبسّط للغاية، لكنّه ليس كذلك، خاصّة وكما رأينا، فإنّ اهداف الأفراد والمجتمعات والبلدان مختلفة ومتنوعة.

وكما في حالة الثورة الذرية، فإنّ الرواد الأوائل لثورة الجينات هم أساتذة وباحثون من مؤسسات علمية هامة، حصل بعضهم على جوائز نوبل وسيحصل آخرون على مزيد منها. ألأشخاص الذين يطبّقون نظرياتهم أطباء وفنيّون اجتازوا تدريبات أحسنوا فيها الأداء، سواء في مختبرات الإخصاب أو في الجامعات أو في المستشفيات أو في مختبرات الشركات أو في العيادات

الخاصّة حول العالم. وفي يوم ليس ببعيد، فإنّ الجيل الجديد من الأشخاص، الذين يعملون الأشياء بأنفسهم DIY سيخرج بينهم **قراصنة** في القضايا البايولوجية biohakers، وهم الأفراد الذين سيقومون بالتجارب البايولوجية خارج المختبرات المهنية، وسيستطيعون إحداث تعديلات هامة في الكائنات الحية، بما فيها البشر في المستقبل.

* * *

تفجّرت حركة القرصنة والاختراقات في هذا الميدان وغزت العالم. في مقالة نُشرت عام 2005 أوضح العالم *روب كارلسُن* كيف أنّه بنى مختبرا كاملا لهندسة الجينات في مرأب سيارته بالمنزل، اشترى متطلباته باستخدام الإنترنت من موقع ebay بكلفة أقلّ من 1000 دولارًا[423]. لا ينوي *كارلسُن* تحوير الجينات لخلق إنسان فرانكشتاين، لكنّه ينذرنا بماذا سيحلّ بالعالم إذا فقد مركزية الرقابة والتنظيم. يوجد اليوم في الولايات المتحدة ما يقرب من 40 مختبرا «فرديّا» غير خاضع لرقابة أو لتعليمات. كما توجد 6 مختبرات من هذا النوع في أوروبا و22 مختبرا في آسيا و12 في كندا و16 في أمريكا اللاتينية و4 في أستراليا ونوزيلندا، كما يوجد البعض منها في أفريقيا[424]. إنّ هؤلاء القراصنة الباحثين غير ملتزمين بأيّة لوائح تعليمية ويستخدمون تكنولوجيا تزداد قوة يومًا إثر يوم، وسيتمكنون في يوم ما من تفكيك مركزية الطرق والأساليب وإحداث تغييرات في هندسة الجينات.

في هذه الأيام المبكّرة يستطيع هؤلاء القراصنة الباحثون القيام بأشياء عجيبة منها استخدام تسلسل الجينوم ليخبروك بنوع وعمر وصحة وجنس الكلب الذي تغوّط في حديقة بيتك الأمامية! يقوم آخرون بتحضير أنسولِن اصطناعي synthetic Insulin وبيعه بثمن رخيص، وغير ذلك من الأمور النافعة[425]. وفي الوقت القريب سيستطيع البايولوجيون من صنف الروّاد المستقلين DIY من التوصّل إلى اختراع وتطوير أدوات لا يمكن تخيّلها ولا تخطر ببال أحد، قويّة ورخيصة، مثل أجهزة طباعة الجينوم الثلاثية، التي تستطيع دمج شظايا الجينات genetic fragments لخلق حياة جديدة. وحين يحدث هذا، فإنّ قراصنة البايولوجيا هؤلاء سيكونون بالنسبة إلى المؤسسة العلمية مثلما فعل هواة بناء الكومبيوتر الشخصي في گراجات بيوتهم، مثل *ستيف ووزنياك* وغيره، ممّن فاجأوا شركات بناء الكومبيوترات المركزية مثل IBM، وهم الشباب الذين أثبتوا جدارتهم وأهمية إنجازاتهم وفرضوا على تلك الشركات أخذها بنظر الاعتبار[426].

وكلما ازدادت أعداد وأنواع مختلفة من الناس، الذين يجدون طريقهم لتحسين القدرات الجينية المتقدمة، فإنّ المنافع المتوقعة ستقود إلى إبداعات أكبر. وبطبيعة الحال، فإنّ الجانب السلبي لسوء الاستعمال سيزداد هو الآخر اتساعا.

إنّ زيادة عدد الأفراد، الذين يستخدمون التكنولوجيا المتقدمة لحلّ مزيد من المشاكل المعقدة ستقود إلى إبداعات أكبر ستوسع بدورها هندسة الجينات من أجل تحسين حياتنا بشكل أسرع ممّا نتصوّر. «إنّ أكثر الحقائق الملحوظة عن هندسة الجينات البشرية اليوم»، حسب ما كتب *سدهارثا مُخرَجي*، «هو كيف أنّها ليست صعبة المنال، ولكن كيف أنّها محفوفة بالمخاطر القريبة المحيّرة»[427].

وفي نفس الوقت، فإنّ انتشار مثل هذه المعرفة والقدرات سيجلب الكثير من المخاطر الحقيقية. فإضافة إلى احتمال قيام صراعات عالمية بين الدول ناجمة عن تطبيقات غير سويّة لتكنولوجيا الجينات، فإنّ تعديل هذه الجينات يمكن أن يتمّ على أيدي الدولة والجماعات الإرهابية أو الأفراد لخلق جينات مسببة للأوبئة pathogens، من التي لها القدرة على قتل الملايين[428]. فمثلًا قام فريق من الباحثين في جامعة ألبرتا في كندا حديثا، وبكلفة أقلّ من 100 ألف دولارًا من استعمال شظايا الحمض النووي لفايرُس جدري الخيول، وهو فايرُس قاتل قريب من الجدري الذي يصيب البشر، في محاولة لصنع لقاح لمرض حديث مشابه[429]. إنّ عمل شيء من هذا القبيل كان ضربا من الخيال، لأنّ كلفته قبل حقبة من الزمن مدعاة لعدم المحاولة. ولكن الآن ومن خلال تطوّر التكنولوجيا لم يعد الأمر شأنا كبيرا، لأنّ الكلفة انخفضت سريعا وبشكل كبير.

ستأتي هذه التغيّرات بمجموعات جديدة من الناشطين والمهتمّين إلى مجال هندسة الجينات حول العالم، وسيجلبون معهم فرصا جديدة وخطيرة في ذات الوقت. سيقوم العلماء من جانبهم، مدفوعين بالمسؤولية للموازنة ما بين الخيارات وفق جينات مُستهدفة لإحداث تغييرات في عالم الحيوان، ومنها العمل للقضاء على مرض اللايم Lyme، الذي ينقله القراد، ومرض الملاريا. وفي نفس الوقت ستقوم الدول المارقة والمجموعات الإرهابية، وحتى العلماء من ذوي النوايا الحسنة ممّن لهم القدرة على إحداث تعديلات جينية قليلة العدد، لخلق كائنات بإمكانها تخريب الأنظمة البيئية بكاملها[430].

إنّ إدراك هذا النوع من المخاطر هو الذي دفع المؤسسات المخابراتية في الولايات المتحدة ولأوّل مرّة اعتبار موضوع تعديل الجينات كسلاح محتمل للتدمير الكامل، الذي سيهدّد الجميع. كتب جَيمس كلاپر، مدير الاستخبارات الوطنية في الولايات المتحدة عام 2016 في تقريره المعنون «تقييم التهديدات حول العالم»، فقال:

> *إنّ بحوث مسح الجينات، التي تجري في بعض البلدان وفق تعليمات مختلفة ومبادئ أخلاقية لا تشابه ما يؤمن به الغرب، ربّما ستزيد من مخاطر خلق بعض العوامل البايولوجية الضارة. نظرا لسعة انتشار وقلة كلفة المواد، ستتسارع الخطى لتطوير تكنولوجيا ذات حدّين. ومن خلال العمل المقصود أو العرَضي، سيقود هذا إلى تطبيقات تمسّ الاقتصاد والأمن القومي*[431].

وكما اعترف كلاپر فإنّ التكنولوجيا المستخدمة بشكل ضارّ أو عن غير قصد، لها احتمالات إحداث أضرار بالغة. «إنّ طبيعة الناس بحدّ ذاتها، وكيف يحبّون ويكرهون ستكون تحدّيا للعديد من اصناف التكنولوجيا المتقدّمة لفهم الجهود المبذولة للسيطرة على علم تشريح البشر، والذي سيوقد نار الفرقة بين الناس والبلدان والمناطق»[432]، حسب ما ورد في تقرير مجلس المخابرت الوطنية الأمريكية عام 2017 تحت عنوان «الإتجاهات العالمية». وفي شهر يونيو من عام 2018، أصدرت الأكاديمية الوطنية الأمريكية للعلوم والهندسة والطبّ تقريرا بعنوان «الدفاع البايولوجي biodefense في زمن البايولوجيا الاصطناعية»، حذرت فيه من أنّ الفرص الرخيصة والمتيسّرة لاستخدام الأدوات الاصطناعية synthetic tools، يمكن اللجوء إليها من قبل المنظمات الإرهابية لخلق أمراض قاتلة سريعة الانتشار[433].

لقد رأينا كيف أنّ الدول المختلفة لها وسائل وطنية مختلفة حول وضع التعليمات والتقييدات وأحيانًا غياب كلّ هذه، ازاء تكنولوجيا هندسة الجينات. ومهما فعلت البلدان منفردة للإشراف على ما يجري على ارضها، فإنّ التعامل مع الأخطار المحتملة لسوء استخدام تكنولوجيا الجينات تتطلب تعليمات واضحة وتنظيما على المستوى العالمي. ولكن إذا كان وضع تقييدات وطنية حول كيفية استخدام التكنولوجيا أمرا صعبا، فإنّ تطبيق ذلك على العالم برمّته أمرٌ أكثر صعوبة.

* * *

فكّر أحد أجدادنا الأوائل وهو يمسك بيديه غصن شجرة طويلًا نسبيّا وقويّا وجافًا وبدأ يحكّ طرفه بحجر ليجعله مدبّبا. لقد صنع رمحا لأوّل مرّة. ولا بُدّ أن قال لأصحابه، «إنّ هذا الرمح ذا الرأس المدبب شيء عظيم! لكنّني أخاف إذا تركت الأمر على غاربه أن يستعمله أفراد جماعتنا ضدّ بعضهم البعض». هزّ الآخرون، الذين تغطيهم الأوحال وهم جلوس حول النار ينظفون العظام ممّا تبقى حولها من اللحم المشوي، رؤوسهم وهم يهمهمون، «طبعًا لا يجوز قتل أفراد المجموعة بهذا السلاح».

غير أنّ أجدادنا الأوائل كانت لديهم نظرة مستقبلية أوسع وأفكار مستنيرة. «لا يتعلق الأمر فقط بأفراد مجموعتنا، بل يجب أن نفكّر في منع القتال الدموي مع المجموعات الأخرى. صحيح لدينا اليوم رماح، ولكن يجب أن نكون واقعيين. هل من الصعب صنع هذه الرماح؟ إنّنا نحتاج فقط أن نحدّ رأس الغصن الجاف لنجعله مدبّبا. حين يشاهد الأخرون ما فعلناه، فإنّهم سيقومون بفعله أيضًا، وستكون هناك رماح مدببة كثيرة. وماذا يحدث بعد ذلك؟ ربّما سينزلون بنا قتلا ذريعا. لماذا لا نأتي الآن بأفراد المجموعات الأخرى ونتفق معهم على أنّ الرماح يقتصر استعمالها على صيد الحيوانات لتأمين الغذاء لنا ولأسرنا ونحافظ على البيئة باقصى درجة ممكنة ولا نقتل كافة الحيوانات، ونكتفي بالذكور فقط. والأهمّ ألّا نلحق الأذى ببعضنا البعض».

قال لئيمهم، «عندي فكرة أخرى. دعونا نستعمل هذه الرماح لصيد الحيوانات وأيضا للاستيلاء على ما تمتلكه الجماعات الأخرى، وسيكون لدينا فيض من الغذاء وغيره من الأشياء الأخرى».

هزّ الحاضرون رؤوسهم دليلا على الموافقة وقالوا، «فكرة جيدة».

إنّ وضع التقييدات بين المجموعات والإلتزام بها أمرٌ ليس سهلًا. إنّه فعلًا شيء نبيل أن يطلق أحد أسلافنا الحكماء تحذيرًا عن وجود خطر داهم ويقترح جهودا تنظيمية في مطلع أيّ عصر للثورة التكنولوجية، رغم أنّ مثل تلك الجهود لم تلق النجاح. لقد جلب العصر الصناعي قوة هائلة وثروة طائلة للبشر كي يستخدمونها لقتل بعضهم البعض على نطاق واسع. وخلال العقدين المنصرمين ربطت خدمات الشبكة الإلكترونية العالم بطرق جديدة، لكنّها فتحت الأبواب على مصاريعها لمستويات دنيئة من الانتهاك وسوء الاستعمال والتلاعب والعدوان وفرض السيطرة على المجتمع. وكما كتب رِچرد *كلارك* و*آرپي* في كتابهما المعنون «تحذيرات» الذي صدر عام 2017

بأنّ **كاسندرا** آلهة الإغريق، التي تتنبأ بالفواجع، قد رفعت صوتها بالتحذيرات عن وقوع المخاطر، التي غالبا ما تمّ تجاهلها[434].

إنّه لمن سخرية القدر أن يقترح شخص وضع تعليمات للبشر الآن حول المخاطر المحتملة، فيقول كثيرون أن لا ضرورة لها وليست عاجلة. ولكن إذا لم يوضع نظام، فلربّما يكون الوقت متأخّرا لكي نعيد ساعة الزمن إلى الوراء حين تقع تلك الشرور. يجب أن ننظر الآن في أفضل الأمثلة عن كيفية تعاملنا مع الثورات في عالم التكنولوجيا، مثل القوة الذرية على المستوى العالمي، عن الأفكار وفي كيفيّة إيجاد توازن بين الدوافع لزيادة المنافع المتأتيّة عن هندسة الجينات البشرية والتقليل لأقصى قدر ممكن من اخطار مساوئها.

تصوّر ماذا كان سيكون عليه مصير العالم لو رفعنا أيدينا جزعا واستسلاما عام 1945، وقلنا إنّ الحدّ من انتشار الأسلحة النووية أمر لا يمكن تحقيقه، ومن الأفضل أن نفسح المجال لذلك. تصوّر حال الواقع لو كنّا قبلنا تدمير بيئتنا ولم نتحرك لإنقاذ كوكبنا وإيجاد البدائل للطاقة، التي نحتاجها[435]. كما جرى توقيع اتفاقية عالمية للإلتزام بعدم استعمال الأسلحة الكيمياوية والبايولوجية. وللأسف لم تلتزم بها بعض الدول، كما في حال سوريا. (الحقيقة أنّ الإرهابيين في سوريا هم الذين استعملوا هذا السلاح بدعم من تركيا وأمريكا بالذات، التي استخدمته في افغانستان وزوّدت قبلها صدام العراق لكي يستعمله ضدّ الأكراد). ومع ذلك، فإنّ وجود مثل هذه الاتفاقيات رغم النواقص أفضل من عدم وجودها. إنّنا نصنع سيارات بإمكانها أن تقطع 800 ميلا في الساعة، لكنّنا وضعنا حدّا للسرعة يوازن بين رغبة الناس للتنقل بسرعة مع الأخذ بنظر الاعتبار سلامة المجتمع، التي نحن بحاجة اليها.

إنّ إيجاد السرعة الملائمة في مسألة تحسين الجينات البشرية، يتطلب أن نجد طريقة للتوفيق بين المواقف اتجاه هندسة هذه الجينات حول العالم قبل أن تمزقنا الخلافات المجتمعية والوطنية بشأنها. يجب أن نجد الطريق للمضي قُدُما وكيف نتجنّب الوقوع ضحية لأفكار اليوجونيكا المبنيّة على العنصرية وصفاء العرق وبسط سيادته.

نحتاج في البداية أن نعرف أيّا من الجوانب التي يجب أن نتحكّم بها، دون غيرها.

ليس هناك خطأ متوارث حول هندسة الجينات وتحسينها. لو كان الإنسان قد خُلق سويّا كاملا، لما وجدنا كلّ هذه النواقص والعوائق في النظام البايولوجي، الذي يسبب معاناة البشر من الأمراض والموت المبكّر وعدم تحقيق إمكاناتهم في عدد من الجوانب. حتى أولئك الذين يؤمنون بوجود خالق، رُبّما يستطيعون أن يتصوّروا أنّ خالقهم قد خلق الكون من حولهم ليس كالورق الذي يغطّي الجدران، بل أراد منهم كيف يعملون على إصلاح كافة أنواع العطب في نظامنا البايولوجي، ليكون بمقدورنا اكتشاف وربّما سكن الأجرام البعيدة في نظامنا الشمسي، بالقدر الذي يمكننا إنجازه.

لربّما سنصل إلى استنتاج بأنّ الحدّ من هندسة الجينات البشرية بطريقة موحدة حول العالم بشكل جماعي سيُسبّب عطبا وتعطيلا في عملية التطوّر. كلّ الذي نعرفه من الكوارث الطبيعية وتلك التي يتسبب بها البشر مثل الفايرُسات القاتلة أو الحروب النووية التي قد تحدث في أيّ وقت، وأنّنا لا نستطيع أن نتجاوزها ونبقى احياء بحكم نظامنا البايولوجي الذي تطوّر لحدّ الآن. قد يكون البديل أمامنا، هو تعديل مسار حركة تطورنا بحيث يختزل من اختلافاتنا ومنافساتنا في عالم لا نستطيع التنبؤ به الآن. غير أنّه مع استمرار النقاش المطلوب لدفع تكنولوجيا الجينات قدُما، فإنّ عدم وضع الحدود والإلتزام بها قضية ستخلق لنا الكوارث.

إذا كان فتح الباب أمام تعديل الجينات الوراثية لكلّ من هبّ ودبّ سيجلب اخطارا وسيخلق صراعات داخل المجتمعات وبين بعضها البعض، فيجب أن نجد البديل الأنسب. تخبرنا الأمثلة عن النجاحات السابقة أنّ وضع تعليمات ذكية وعالمية يجب أن يكون عنصرا أساسيّا في طريقة تعاملنا مع هذا الموضوع.

* * *

يجتمع أفضل العلماء في السنوات الأخيرة بشكل متكرّر من أجل وضع أحسن السبل للمضي في هندسة الجينات البشرية. كان بعض المراقبين قد حذروا من أنّ تدخّل الحكومات في المراحل المبكّرة سيلحق أضرارا تتجاوز المنافع. اقترح البعض أنّ الرقابة الذاتية من قبل الهيئات العلمية، يجب أن تكون كافية في الوقت الحالي[436]. رغم أنّ الهيئات العلمية قد قامت بعمل مشكور بواسطة رسم طريق حصيف لاستعمال تكنولوجيا الجينات بشكل عقلاني[437]، غير أنّ الرقابة الذاتية غير كافية. وببساطة، فإنّ المخاطر التي تحيط بالجنس البشري عالية، إذا تركنا هندسة الجينات تمضي

دون رقابة تنظيمية. ورغم نزعتنا بأن نفتح المجال أمام ألف زهرة كي تتفتح، فإنّنا يجب أن نسعى إلى إيجاد نوع من التناغم العالمي حول المدى الذي نريده للجنس البشري أن يتطوّر.

إنّ أفضل صور التوازن هي التي تخلقها السيطرة الدولية، التي تأخذ بنظر الاعتبار التعقيدات والمصالح المتضاربة للبلدان والجماعات. وكما الحال في **معاهدة عدم انتشار الأسلحة الذرية**، التي وازنت ما بين حاجة الدول المالكة وغير المالكة للقوة النووية، فإنّ أيّ هيكل تنظيم عالمي بصدد هندسة الجينات البشرية، يحتاج أن يوازن بين مصالح كافة البلدان. بالنسبة لأولئك الذين يعتبرون التدخل في تعديل الجينات البشرية لأطفالهم، حقا أساسيّا لهم من أجل مصلحة هؤلاء الأطفال، وربّما التزاما يجب التمسّك به. لكنّهم بحاجة إلى أن يجدوا على الأقلّ أرضية مشتركة مع أولئك الذين يرون المسألة بأنّها تعدّ على الكرامة البشريّة. وبطبيعة الحال، فإنّ طرح مثل هذا الرأي أسهل بكثير من تطبيقه فعلا. السبّب هو أنّ التحدّيات تعود إلى اختلافات مبدأيّة.

حاول الفلاسفة بعناء ولآلاف السنين أن يحدّدوا حقوق الإنسان ومسؤولياته. صدر **الإعلان العالمي لحقوق الإنسان** إثر حربين عالميتين وفظائع النازية ليؤمن الأساس العام «لحقّ الكرامة... وحقّ المساواة بين أفراد العائلة الإنسانية». تفتتح الجملة الأولى من الإعلان المذكور بالقول، «يولد كافة الناس أحرارًا ومتساوين في الكرامة والحقوق». وهذه هي بداية تعقّد المشكلة.

ماذا تعني كلمة «يولد» في هذا النّصّ؟ هل ينطبق ذلك على الجنين في مراحل تكوينه المبكرة جدّا وتعديله قبل أن يُزرع في الرحم؟ إذا حوّلنا كلمة «يولد» born إلى كلمة «تحبل به» conceived فإنّ ذلك يحدّ من حقوق الأم في الإنجاب. كما يعني أنّ كلّ واحدة من آلاف البويضات الملقحة، التي ما زالت في صحون المختبرات، وهي بويضات وحيامن استخلِصت من الخلايا الجذعية المُستحثة، لها نفس حقّ الطفل وهو بعمر 10 سنوات. بعبارة أخرى، الموضوع شائك للغاية.

لو استطعنا التوصّل إلى رأي مُشترك حول الحقوق، التي يجب أن تُحمى وما هي سبل المحافظة عليها، فإنّ وجود هيكل تنظيمي عالمي متناغم، سيجلب الكثير من المنافع. إضافة إلى اختزال إمكانية الصراع وتجريد الإنسان من إنسانيته خلال عمليات التجريب، فإنّ هذا الهيكل سيُسهّل التعاون العالمي ويُقلل من كلفة فرض القيود ويُعجّل في خلق بيئة للتعاون من أجل المنفعة البشرية العامة.

إذا أخذنا هذه الأهداف بالحسبان، فإنّ القليل من المحاولات، واغلبها ما كان رشيدا، قد جرت خلال السنوات الحديثة للوصول إلى اجماع دولي للمضي إلى الأمام.

أكّدت منظمة اليونسكو التابعة للأمم المتحدة عبر **اللجنة الدولية لأخلاقية البايولوجيا** على أنّ «الجينوم البشري يجب أن يُحافظ عليه باعتباره إرثا عامًا للبشريّة جمعاء»[438]. جاء ذلك في **إعلان اليونسكو حول الجينوم البشري وحقوق الإنسان**، الصادر عام 1997. منع هذا الإعلان «أيّة ممارسات تخالف الكرامة البشرية، ومنها استنساخ الكائنات البشرية». وفي نفس السنة فتح **المجلس الأوروپي** المجال للتوقيع على بيانه الصادر عن **مؤتمر حقوق الإنسان وكرامته بالنسبة للطب البايولوجي**، الذي ادّعى أنّ التدخلات ترمي إلى تعديل الجينوم البشري والسماح به فقط من أجل «المنع والتشخيص والمعالجة، وليس بهدف إجراء تعديلات تنتقل إلى أبناء المستقبل وأحفادهم»[439].

تأسست في شهر فبراير من عام 2002 لجنة الأمم المتحدة للتحضير لعقد مؤتمر دولي ضدّ عمليات استنساخ البشر Human Cloning. بدأت المناقشات لوضع معاهدة ملزمة بهذا الشأن، وتبنّت الجمعية العمومية للأمم المتحدة قرارا في شهر مارس من عام 2005 وافقت عليه 84 دولة وعارضته 34 دولة وامتنعت 37 دولة عن التصويت. دعا القرار إلى، «منع كافة أشكال استنساخ الكائنات البشرية، بما يتوافق مع كرامة الإنسان وحماية الحياة البشرية، كما نعرفها»[440]. في لقاء لمنظمة اليونسكو عام 2015، صدر قرار بإيقاف التعديلات الهادفة إلى خلق صفات وراثية دائمة داخل الجينوم البشري لأنّ ذلك، «يعرّض للخطر كافة الموروثات والكرامة المتساوية لكافة البشر ويبدأ جولة خرى لعمليات اليوجونيكا العنصرية»[441]. في نهاية عام 2015 اجتمعت لجنة المجلس الأوروپي المسؤولة عن مراجعة قرار اجتماع المجلس المذكور عام 1997، واصدرت قرارا آخر تراجعت فيه عن القرار السابق باعتبار أنّ ما ذُكِر في ذلك العام، كان فقط نقاطا طُرِحت للمناقشة في المستقبل[442].

لم تكن تلك الاتفاقات الدولية وثائق قانونية ملزمة، إضافة لكونها لم تمثل اجماعا عالميًّا على الطريقة للمضي قُدُمًا. البلدان التي حققت منها المنافع، هي التي انتعشت فيها الآمال وتقبّلت ثقافاتها تلك العلوم وتطبيقاتها، لأنّها لم توقع أصلا على الاتفاقيات لرفضها فرض تحديدات على نشاطاتها من قبل الآخرين، الذين ليس لهم أصلًا أيّ دور في هذا الميدان.

وأكثر من ذلك، إنّ أولئك الذين سعوا لتقييد «أيّ تعديل ثابت على الجينوم بحيث ينتقل إلى الأجيال القادمة» وأنّهم فكّروا أنّ الجينوم مقدّس «باعتباره إرثًا جماعيًا للإنسانية»، كان نهجًا تبسيطيًا simplistic approach منذ حقبتين، حين كان عدد قليل من الناس يتصوّرون المعجزات، التي تتحقق في العيادات بمرور الوقت. في عام 2018 صدر ترخيص لإجراء عمليّات نقل الميتوكوندريا بين الأجنة من قبل حكومة المملكة المتحدة، التي تسبق العالم بإصدار تعليماتها التنظيمية في العالم بخصوص تكنولوجيا التكاثر والتناسل. لم تعد مثل هذه العمليات محاولات تدنّس «التراث العام للإنسانية» لكنّها محاولات طبيّة إنسانية رائدة في ذات الوقت. لم تعد فكرة الجنين، الذي له أب وأمّان «مسألة خارجة عن القانون»، ولكن شيء يشبه فترة السبعينات عند ولادة *لويز براون*، الطفلة التي تمتعت بصحة جيدة والرائدة المتقدّمة لجيل جديد في هذا العالم.

مع كافة التطبيقات لتغيير جيناتنا وجينات أطفالنا في المستقبل، من أجل إزالة واختزال المخاطر المتأتيّة من الأمراض الوراثية، «وتجاوز أيّ تعديل في الجينوم كي ينتقل إلى الأجيال القادمة»، تبدو وكأنّها ليست خطوة إنسانية بل أكثر من استثمار في خطر مستقبلي. إنّ العمل للحفاظ على الجينوم باعتباره «إرثًا إنسانيًا عامًا»، أصبح عمليًا مناقشة من أجل منع التكاثر الجنسي ويتطلب من الناس أن يتكاثروا عن طريق الاستنساخ. وحتى لو تمّ اختراق نظرية *داروين* في تطوّر البشر، فإنّ الحصيلة هي استمرار التطوّر ولكن بطرق مختلفة. القضية هي أنّ التطوّر نفسه يتطور.

ولكن لو بُذلت الجهود لخلق اتفاق عالمي حول هندسة الجينات البشرية، وإن فشلت لحدّ الآن، يجب علينا الاستمرار في البحث عن طريقة أفضل للمضي قدُما من أجل تحسين مستقبل جنسنا البشري.

إذا استطعنا التوّصل إلى اتفاقية تنظم هندسة الجينات البشرية، مثل الاتفاقية التي توصلنا إليها حول عدم انتشار الأسلحة النووية، فسنكون لعبنا دورا مزدوجا صعبا. أوّلا، كمناصرين لتطبيقات العلوم المسؤولة من أجل المصلحة العامة. وثانيا، وفي نفس الوقت السلطة، التي تمارس دورا مقبولا في فرض التقييدات بشأن المسافة، التي تمضي فيها تلك النشاطات قبل أن توقف عند حدّها.

إنّ إيجاد توازن من هذا القبيل سيكون أمرا بالغ الصعوبة عند طرحه للمناقشة. لو فُتِح المجال بشكل واسع، سيثور المعارضون. وإذا وُضِعت تقييدات محدودة فسيجد المعارضون لذلك

طرقا بديلة للحصول على الخدمات، التي يريدونها باللجوء إلى العيادات السريّة أو السفر إلى بلدان أخرى، وحتى اللجوء إلى البيئة البحرية أو الجوية للقيام بعمليات التعديل هناك. وإذا وضعنا خطا وسطا، فإنّ ايّة تعليمات ستكون بالغة الغموض وتفتقر إلى أيّ معنى. الفشل في وضع معيار عالمي لهندسة الجينات البشرية بوجود هذه الثورة في التكنولوجيا، سيتحوّل إلى سباق دولي للتسلح الجيني IGAR.

تحتاج الاتفاقية إلى عدم التعرض لحساسية الجهات المتنفذة التي لا تتقبل فكرة هندسة الجينات البشرية، كما لا تريد تطوير معرفة جديدة وتطبيقاتها على البشر، وما ستجلبه من ثروة تبلغ بلايين الدولارات. إلّا أنّها لا تريد أن تكون عائقا في المنافسة بين الأفراد والشركات والبلدان، والرفاه الذي ترجوه الأجيال القادمة. وضمن هذا الإطار الضيّق، فإنّ أيّ معيار يحتاج أن يكون متساهلا ومحدّدا فقط لأيّة تجاوزات على الكرامة البشرية.

نظرا لأنّ الحكومات لا تمثّل في الغالب رأي كافة المواطنين، فإنّنا نحتاج أن نعرف مصالح مَن يجب النظر بها عند إجراء المفاوضات، وكيف يمكن تنظيم هذه المصالح، وما هي الميكانيكية، التي يجب اتباعها لتنفيذ القرارات. كما يتطلب الأمر معرفة كيف يمكن أن نهيء المتطلبات مسبقا من أجل دفع العلوم النافعة أوّلا، وعدم الوقوف في وجهها.

قد يكون من المحتمل في هذه المرحلة، أنّ التقييدات الوحيدة، التي يمكن الاتفاق عليها هو أن نتوصّل إلى تعريفات عامة لوضع خطّ أحمر يجب عدم تجاوزه من قبل مهندسي الجينات البشرية. يتضمّن هذا السلوكيات التي يتفق الجميع عليها بكونها خطيرة ومُستهجنة خلال عمليات التجريب على البشر، وخلط مزيج من الجينات البشرية والحيوانية، وهندسة بشر لهم صفات مصطنعة متطرّفة تهدّد الهوية البشرية المعروفة. لا تقترب عيادات الإخصاب والمختبرت الجامعية إطلاقا من هذه الممارسات في الوقت الحاضر، رغم أنّ القليل من أقسام الفيزياء في بعض الجامعات والمحطات النووية لتوليد الطاقة الكهربائية، تعمل على خلق أسلحة نووية جديدة.

نظرا لأنّ العلوم الأساسية والقبول الثقافي والحضاري للتطبيقات الجينية الجديدة تبدو عاديّة ومفيدة، إلّا أنّها ستتغيّر بمرور الوقت. وعليه يجب أن تكون المعايير العالمية طيّعة وليّنة للغاية، وأن تُعاد المفاوضات بشأنها في شكل منتظم، من أجل قبول التطوّرات التكنولوجيا وتطبيقاتها في الميادين الطبّية.

إذا استطعنا، رغم كافة الصعوبات، من خلق هيكل عالمي أوّلي لتنظيم عمليات هندسة الجينات ومراقبتها، فإنّنا لا نزال بحاجة أن نجد طريقة للتوازن في سياسة استخدام الجزرة والعصا الغليضة. وكما رأينا في معاهدة الحدّ من انتشار الأسلحة النووية، باستطاعتي أن أتصوّر بلدانا أكثر تقدّما وهي تقدّم العون لبلدان أخرى في ميدان الجينات والبايوتكنولوجي، مقابل التزام الأخيرة بتعليمات التقييد والموافقة على الأسس الأخلاقية، التي تقوم عليها تلك التقييدات.

وحتى لو حدث هذا فسيوجد حول العالم طلبات وسوق لأنواع متطرفة من التعديلات والتحسينات الممنوعة في اغلب بلدان العالم. قد يدفع الآباء والأمهات المتطرفون إلى حصول أطفالهم على ميول نظرية جانحة. وربّما قد تقرّر بعض البلدان هندسة جيل «منخفض» يقوم على خدمة الأسياد المتسلطين، أو خلق طبقة من الإشدّاء المتعطشين للدّم ليتولوا شؤون الحكم. لربّما ستنشيء بعض الشركات مراكز من هذا القبيل خارج المياه الإقليمية. ماذا سيحدث إذن؟

في المؤتمر العالمي، الذي عُقد عام 2005، قرّر رؤساء الدول القادمين من كافة أنحاء العالم الموافقة على أنّ «الدول مسؤولة عن حماية مواطنيها»، وأنّه إذا تمّ المساس بهذه الحقوق، فيجب اللجوء إلى المجتمع الدولي[443]. ورغم أنّ «مسؤولية الحماية» ليست ملزمة قانونيّا، فإنّ العبارة قد استخدمت كحجّة لتبرير التدخلات العسكرية، كما حدّث في العراق وليبيا واليمن، وما نجم عن مثل هذه التدخّلات من مآس وشرور.

تعطي أغلب التجاوزات المفضوحة للمعايير الدولية المتفق عليها بخصوص هندسة الجينات، المجتمع الدولي القدرة على خلق مستويات متصاعدة من الضغوط، التي تتراوح بين المقاطعات الاقتصادية إلى التدخلات العسكرية من أجل ردع المخالفين كي يغيّروا سلوكياتهم. بالرغم من السجلّ الفاشل لعدد من التدخّلات «الإنسانية» يبدو أنّه من الجنون أن نقترح بأنّ البلدان قد تضطرّ في يوم من الأيام أن تتدخّل عسكريّا لإيقاف بلد ما يمارس هندسة جينات سكّانه بطريقة وحشية تخالف صريحا الخطوط الأخلاقية الحمراء المتفق عليها عالميًّا. ومن وجهة نظر اليوم، لربّما يُعتبر ذلك ضربا من الجنون. ولكن إذا أصرّينا على أنّ بعض التعديلات على إخواننا وأخواتنا من البشر ألّا تتجاوز حدود المعقول والمقبول، فقد يحين الوقت لاتخاذ إجراءات صارمة لوقف تلك التجاوزات.

في ضوء كافة هذه التحدّيات، فإنّ وضع بعض التقييدات وإيجاد السبل لفرضها على المستوى العالمي، فيما يتعلق بهندسة الجينات البشرية، مسؤولية كبيرة لا اعتقد أنّنا مستعدّون لتنفيذها بعدُ. إنّ التفاوت الحالي اليوم بشأن ما تستطيع العلوم فعله، أو ما ستحققه في المستقبل القريب، ما زال الناس يجهلون أو غير مستعدّين لهذا الأمر. وهو ما يجعله صندوقا خطيرا قابلا للانفجار. يجب علينا الانتباه له، أوّلا وقبل كلّ شيء بالتثقيف والتوعية العامة وإشراك الجميع في المهمّة[445444].

الخطوة المباشرة الأولى في هذا الإتجاه هي مساعدة كلّ بلد ليطور برنامجه التربوي العام وتأسيس لجان حول أخلاقيات البايولوجيا bioethics لتضع أطرًا تنظيمية لهندسة الجينات مستعينة بتقاليد وأخلاق ومصالح كلّ بلد.

وهناك نماذج عدة حول العالم يمكن الإقتداء بها. ربّما أفضل مثال للتنظيمات الحكومية هو ما موجود في المملكة المتحدة باسم **سلطة الإخصاب والأجنّة البشرية،** التي تشرف على تكنولوجيا الإنجاب المتقدمة. ويمكن للبلدان المختلفة أن تؤسس لها نماذج متنوعة شرط أن يكون لكلّ منها برنامجه الخاص. وحين يحدث ذلك، سيكون بالإمكان أن يتمّ تبادل المعلومات والتعلم من البعض الآخر للوصول إلى تطوير أحسن السبل والممارسات. كانت جهود الحكومة البريطانية مصحوبة بجهود أخرى للمنظمات الخيرية مثل **صندوق التعليم الخاص واتحاد البحوث الوراثية في المملكة وصندوق الثقة التربوية**. عملت هذه المؤسسات جميعًا على إشراك الرأي العام وتبنّي لغة حوار المشاركة العامة[446]. فمثلا اقترح «مجلس مقاطعة نَفيلد لأخلاقيات البايولوجيا» عام 2018 تأسيس جهاز مستقلّ تموّله الحكومة البريطانية لزيادة وعي المواطنين ومشاركتهم الجماعية في مناقشة مواضيع الجينوم البشري وقضايا الإنجاب[447]. كما قامت الدنيمارك بعمل مماثل لتمكين جماعات المواطنين من تقديم اقتراحاتهم وآرائهم إلى ممثلين مُنتَخَبين حول قضايا هندسة الجينات والتكنولوجيا الخاصّة بموضوعاتها.

ولكن حتّى أكثر الناس انفتاحا بيننا، لا يمكنهم الانتظار كي تقوم بلدانهم وحكوماتهم بالخطوات المشار إليها في أعلاه. يجب أن يقوم كلّ منّا بأخذ المسؤولية على عاتقه والتأكيد على تثقيف انفسِنا عمّا سيحصل ويأتي وإشراك الآخرين من حولنا والشروع في مناقشات وحوارات

حول هذه القضايا. يجب أن يلعب كلّ منّا دورا في طرح المناقشات حول هندسة الجينات البشرية قبل فوات الأوان.

أشعل الناشطون الشرارة لتحريك الجماهير قبل أن ينقلب الرأي العالمي ضدّ قضايا العبودية والألغام الأرضية ومناجم الألماس الدموية والمناداة بوضع حدّ للفساد المستشري واسقاط الديون عن الدول الأفريقية الفقيرة وحماية البيئة، إلى غيرها من القضايا العامة. انطلقت تلك الجماهير ومارست الضغوط على حكوماتها لوضع حدّ لتلك الممارسات المشينة.

المعايير في العادة ذات طبيعة إسفنجية ويصعب قياسها. العبودية، مثلا كانت مقبولة في أجزاء عدة من العالم حتى بدأت حركة مقاومة العبودية في القرن التاسع عشر في إنگلترا. انطلقت الشرارة الصغيرة من جامعة كَيمبرِج واشتدت قوّتها حتى تغيّرت القوانين البريطانية. وعلى أثر ذلك ألغيت العبوديّة في الولايات المتحدة والبلدان الأخرى، بعد أن أصبحت وبشكل متزايد عارا على من يتقبّلها أو يمارسها. سبق تحوّل الحركة المضادة للعبودية إلى قوانين فعلية، كانت قبلها قد أصبحت شعورا عامًا عكس روح العصر. دارت الكثير من النقاشات الشخصية والتفكير العميق وأجريت البحوث ومحاولات البحث عن الذات وبناء التحالفات واخيرا الإنخراط في القتال خلال الحرب الأهلية، فأصبحت القضية ككرة الثلج المتدحرجة.

يُقال إنّ عالمة الإنثروپولوجيا *مارِگَرَت* ميد قد قالت مرّة، «لا تشككوا إطلاقا بقدرة جماعة صغيرة من المواطنين المفكّرين الملتزمين على تغيير العالم. في الحقيقة، إنّ ذلك يحدث مرّة إثر أخرى». إنّ هذا النموذج في طريقة بناء الهياكل المعيارية مطلوب لمساعدة أبناء جنسنا ليعبّروا عن ذلك ويصبحوا روّادا لأفضل القيم، التي تجد التوازن الصحيح المطلوب في مسألة هندسة الجينات. يجب أن نحتضن مسألة القيام بسلسلة من المحادثات على المستويات المحلية والوطنية والدولية لتخلق بمرور الوقت معايير عالمية ثابتة ونضع الأسس القويّة لاتخاذ القرارات، التي يتوجّب علينا اتخاذها في المستقبل.

في الحقيقة لم نُقدِم على إجراء حوار عالمي حول مستقبلنا. ولكن كيف كان بالمستطاع أن يُنظّم حوار عالمي في القرن الثامن عشر في مطلع قيام الثورة الصناعية، حين كانت نسبة من يقرأون ويكتبون لا تزيد عن 10% من مجموع سكان العالم وطريقة التواصل الرئيسيّة في وقتها هي استخدام رسائل البريد، التي يستغرق وصولها إلى الشخص المطلوب أشهرا؟ وحتى في عام

1945 وبزوغ فجر العصر الذري، كان ما يقرب من 30% من سكان العالم يعرف القراءة والكتابة وخطوط الإتصالات التلفونية قصيرة ومتباعدة. أمّا اليوم، فإنّ نسبة المتعلمين حول العالم تصل إلى 85% وأنّ حوالى 2/ 3 من سكان العالم يمتلكون التلفون المحمول وأنّ نصّفهم تتوفر له خدمات الشبكة الإلكترونية، أضف إلى ذلك، أنّ أعداد هؤلاء تتزايد باستمرار.

ومع زيادة نسبة سكان العالم، الذين يرتبطون بشبكات الاتصال، بشكل أو بآخر، تتوفر لدينا الآن فرصة فريدة أن نتكاتف من أجل الوصول إلى قرارات جماعية ذات معنى أكثر من أيّ وقت مضى. وإذا أخذنا بنظر الاعتبار مسار العلوم ومواضيع الانقسامات السياسية، فإنّ الفجوة للحوار البناء سوف لن تبقى مفتوحة لفترة أطول.

إنّ إجراء حوارات بين كافة الأجناس تعني ربط الأفراد والمجتمعات حول العالم، بغضّ النظر عن الفروق في خلفياتهم ووجهات نظرهم ودرجات تحصيلهم الدراسي، عبر شبكة متداخلة للحوار والنقاش. وبطبيعة الحال، ستضمّ هذه الشبكة أشخاصا يعارضون تحسين الجينات، وعلى الطرف الآخر يراها البعض أنّها الحلّ الناجع، والغالبية العظمى بين المجموعتين ليس لديها فكرة عمّا يجري. سيركّز الحوار على الجوانب المضيئة المتوقعة من هذه التكنولوجيا الجديدة، ولكن أيضا وبطريقة أمينة وصريحة، سيتطرق الحوار ذاته أيضا إلى المخاطر المتوقعة.

من أحد السبل لتحقيق هذا الحوار العالمي، سيكون تأسيس هيئة عالمية تضمّ مجموعة من قمة العلماء والمفكّرين ورجال الدين وغيرهم، وتوكل لهذه الهيئة مهمة طرح أسئلة أساسية حول مستقبل هندسة الجينات البشرية. وقد يكون من بين الأسئلة ما يلي:

1. ماذا يمكن عمله للتأكّد من فسح المجال الممكن للاستفادة من الجوانب الصحية والطبية لاستخدام تكنولوجيا الجينات؟

2. هل يجب وضع تقييدات وشروط على تطبيقات تكنولوجيا الجينات في ميدان معالجة الأمراض؟ إذا كان الأمر كذلك، فما هي هذه التقييدات والشروط؟

3. هل يجب أن تتوفر لعامة الناس كافة المعلومات عن تركيب جيناتهم وجينات أطفالهم في المستقبل، أم يجب وضع شروط على كشف هذه المعلومات؟ إذا كان

الأمر كذلك، فما هي هذه القيود ومسبّبات فرضها؟

4. هل يُسمح للآباء والأمّهات بشكل كامل، أن يختاروا الأجنة، التي يفضلونها من بين الأجنة الطبيعية خلال عمليات الإخصاب المختبري؟ إذا لم يكن ذلك ممكنا، فما هي الأسس لوضع تقييدات على ذلك؟ هل يُسمح للآباء والأمّهات اختيار الأجنة بناء على سلامتها من الأمراض الوراثية أو الطول أو معدل الذكاء... الخ من الصفات؟

5. إذا تمّ إثبات سلامتها، هل يُسمح بالعمليات الدقيقة لمسح الجينات لغرض إزالة الأمراض الوراثية من الخلايا الجنسية الذكورية للأفراد البالغين، وزرع الأجنة بحيث تنتقل هذه التعديلات إلى الأجيال القادمة؟

6. هل نحتاج إلى هيكل عالمي يساعد في تحريم سوء استخدام الجينات البشرية؟ إذا كان الأمر كذلك، ما هي المعايير التي يقوم عليها هذا التحريم؟

7. ما هي المؤسسات، التي نحتاجها على المدى البعيد، لتعزيز الحوار العالمي الشامل حول مستقبل هندسة الجينات البشرية، التي تحقق أكبر الفوائد نتيجة استخدام هذه التكنولوجيا واختزال الأضرار إلى اقصى قدر ممكن؟

8. ماذا يجب أيضًا عمله للتأكيد بأنّ ثورة الجينات ترمي لتحسين كافة صفاتنا الإنسانية، وكيف يستطيع كلّ منّا أن يُزيد من مشاركته في هذه العملية؟

وبعد أن تتمّ هيكلة هذه المواضيع من قبل هيئة الخبراء، الذين على دراية بمعرفة المواد الخلفية للوسائط المتعددة، التي يجب تهيئتها عن كلّ واحد من تلك الأسئلة، تصبح هذه الأساس لحوارات متشعّبة ومستمرة تجري حول العالم.

بإمكان تحالف دوليّ بين الجامعات والمؤسسات التربوية ومراكز البحوث والمنظمات الدينية وهيئات المجتمع المدني، أن تنظّم هذه الحوارات من خلال جلسات كبيرة وصغيرة تعقد حول العالم.

وكلّ منظمة مساهمة يمكنها تنظيم مؤتمراتها الخاصة المباشرة أو عن طريق الفديو الحيّ لمناقشة الأسئلة، على أن يتمّ تلخيص النتائج وارسالها إلى الهيئة/اللجنة الأمّ.

وبموجب الأسس الديمقراطية، فإنّ الأفراد المتحمّسين وغيرهم من الجماعات، يجب تشجيعهم على تنظيم انفسهم وإجراء حواراتهم ومناقشاتهم وفق نفس الأسئلة المركزية المطروحة. إنّ هذه المئات وربّما الملايين من حلقات المناقشة، يمكن أن تُعقد في القاعات الكبرى وفي صفوف الدراسة وأماكن العبادة وفي مطابخ البيوت ومواقف سيارات النقل وصالونات الحلاقة وساحات المدن وقاعات الاتحادات النقابية وغرف الدردشة على الإنترنت والمراكز القرويّة ومنتديات التواصل الاجتماعي... الخ من الأماكن، التي يصعب حصرها، حيث يتصّل الناس ببعضهم البعض.

يمكن عقد المؤتمرات الافتراضية العالمية بين فترة وأخرى لجمع بعض سكان مختلف أنحاء المعمورة مع بعضهم البعض للمشاركة في نقاشات وحوارات متنوعة حول العالم، وتأسيس شبكات للحوار محتواها مبنيّ على أسس نموذج TEDx. يساعد هذا النموذج على جعل التعليم والمشاركة أكثر تشويقا وأسهل، من أجل طرح مزيد من الأسئلة، التي تتطلب الخوض فيها.

حين يصل هذا الحوار العالمي المبنيّ على المعرفة والعلم حول مستقبل هندسة الجينات إلى الجماهير، فلربّما يظهر جهاز خاصّ يرتبط بالأمم المتحدة، يأخذ على عاتقه مهمة تنظيم أعمق للعمليّة ونقلها إلى مستوى أعلى. يستطيع هذا الجهاز الخاصّ أن يضع خلاصة المناقشات العالمية ووجهات نظر الخبراء ومساهمة الجهات الوطنية ومنظمات المجتمع المدني وغيرها من الهيئات والمؤسسات لطرح سلسلة من التوصيات، التي تتلائم باستمرار مع عامة اتجاهات الناس وآراء الخبراء.

وبمرور الوقت يمكن لهذا النوع من عملية التشارك أن يساعد الناس والمجتمعات والدول والعالم بأجمعه أن يتوصّل إلى فهم أفضل لثورة الجينات وغيرها من الثورات العلمية، ليشارك المواطنون بطريقة أكثر نشاطا في عملية اتخاذ القرارات حول مستقبلنا عموما. يبدأ حينها وضع الخطوط الحمراء، التي نشعر بصددها على الأقلّ الآن ويُطلب عدم تجاوزها.

قد يبدو الحوار العالمي حول مستقبل الجينات البشرية شيئًا يسيرا بالمقارنة مع حجم التحدّي، الذي ستطرحه ثورة الجينات. وقد تجلب مثل هذه الظروف اضرارا يتسبّب بها بعض المُتشككين

بالعلوم، الذين سيعارضون استخدام حتى أبسط أنواع تكنولوجيا الجينات. يبدو البديل عن طريق البدء بالمشاركة العامة الواسعة هو الأسوأ. وحتى لو تمكّن عدد قليل من المتخصصين من ذوي النوايا الحسنة اطلاق ثورة الجينات البشرية، التي ستحسّن حياة كل فرد وتغيّر في النهاية المسار التطوري لكافة الأجناس، فبدون مشاركة ومساهمة ذات معنى من قبل الآخرين، فإنّ ردود الفعل العنيفة ضدّ ثورة الجينات ستطغى على منافعها الضخمة المرتقبة. يجب أن تتقبّل البشرية ثورة الجينات، ولكن من الخير لنا أن نشارك جميعا في عملية التقبّل هذه.

* * *

ستفتح ثورة الجينات أسرار واحدة من اعظم الفرص لتقدّم صحة البشر وعافيتهم في تاريخ الكائنات. سنطلب الاستفادة من تكنولوجيا الجينات لأنفسنا ولأطفالنا في الخطوة التالية لمواجهة الصراع القاسي مع عالم الطبيعة، لكي نحقق أعظم أمانينا حتى نتجاوز البايولوجيا المحدودة في أجسامنا. وربّما في يوم ما سيطول الوقت الذي نقضيه على هذا الكوكب.

إنّ معرفة استخدام تكنولوجيا الجينات بطرق متعددة سيعزّز مكانتنا واحترامنا لبعضنا البعض، وسيتطلب ذلك منّا اللجوء إلى أفضل الأخلاقيات البشرية ونزيد من التزامنا بها من أجل إظهار الاحترام والاستثمار في عالم متنوّع متساوٍ ومشترك بيننا جميعا. المشكلة هي أنّه بالرغم من أنّ تكنولوجيا هندسة الجينات فرع جديد في العلوم، فإنّ القيم والأخلاق والفلسفة، التي نحتاجها لتقييم هذه التكنولوجيا واستخداماتها، قديمة للغاية.

يتطلب اللجوء إلى أحسن قيمنا في هذه المرحلة الانتقالية بالنسبة للبشر، أن نفهم ماذا يجري وما هو القادم وأين المخاطرة والدّور الذي يلعبه كلّ منّا لبناء تكنولوجيا تعزز مستقبلنا جميعا.

إنّ بدء حوارات حول تطوير المعايير التي يمكن تحويلها إلى ممارسات عالمية فُضلى وبالتالي تعليمات دولية، ستكون عملية طويلة وشاقة وربّما ستكون مستحيلة. لكنّ المحاولة على الأقلّ، ستأتي بالناس لكي يساهموا في خلق مستقبل البشرية. لن يكون بوسعنا إيقاف تعزيز جيناتنا، ولكن نستطيع التأثير على العملية بأمل أن يكون الوضع أفضل عند الانتقال من حال إلى حال آخر.

ستكون عملية صعبة مؤلمة حافلة بالصراعات، ولكن ليس أمامنا خيار آخر. يجب علينا جميعا المساهمة، دون أن نضيّع لحظة واحدة للبدء بذلك.

الآن وقد قرأتم هذا الكتاب، فإنّكم تشكّلون محفزا حرجا أساسيّا لهذا الحوار.

إخوتي وأخواتي، دعونا نبدأ هذا الحوار اعتبارًا من هذه الساعة.

مراجع إضافية للمطالعة

Additional Reading

Some excellent books explore many of the individual topics I discuss in Hacking Darwin. A few of my favorites include:

Better Than Human by Allen Buchanan,

Regenesis by George Church and Ed Regis,

A Crack in Creation by Jennifer Doudna,

Evolving Ourselves by Juan Enriquez and Steve Gullans,

Radical Evolution by Joel Garreau,

The End of Sex and the Future of Reproduction by Hank Greely,

Homo Deus by Yuval Noah Harari,

How We Do It by Robert Martin,

The Gene by Siddhartha Mukherjee,

Blueprint by Robert Plomin,

Who We Are and How We Got Here by David Reich,

She Has Her Mother’s Laugh by Carl Zimmer.

Because the genetic revolution is unfolding so quickly, there are many incredible (and faster-moving) websites, blogs, and podcasts that are essential resources very much worth exploring

Notes

[1←]

قبل حوالى 3.5 بليون عام انشطرت المايكروبات ذات الخلية الواحدة إلى قسمين. بكتريا bacteria وآركيّا archaea. وأضاف علماء الأحياء فيما بعد صنفا ثالثا سمّوه يوكيريا eukarya.

[2←]

For an incredible visual image of this, see Courtney K. Ellison, Triana N. Dalia, Alfredo Vidal Ceballos, Joseph Che-Yen Wang, Nicolas Biais, Yves V. Brun, and Ankur B. Dalia. «Retraction of DNA-Bound Type IV Competence Pili Initiates DNA Uptake during Natural Transformation in Vibrio Cholerae.» Nature Microbiology, 2018, doi:10.1038 /s41564-018-0174-y.

[3←]

Priya Verma, «Reproduction and the Discovery of Sperm,» Elawoman, accessed June 25, 2018,

https://elawomn.quora.com/Reproduct
ion-and-the-Discovery-of-Sperm.

[4←]

edition.thF. Gilbert, «Structure of the Gametes,» in Developmental Biology, 6 (Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2000),

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/
NBK10005/.

[5←]

A few anthropologists make the case that humans began domesticating crops around 23,000 years ago. See Ainit Snir, Dani Nadel, Iris Groman-Yaroslavski, Yoel Melamed, Marcelo Sternberg, Ofer Bar-Yosef, and Ehud Weiss. «The Origin of Cultivation and Proto-Weeds, Long Before Neolithic Farming,» Plos One 10, no. 7 (2015), doi:10.1371/journal.pone.0131422.

[6←]

Most of these epigenetic marks develops from scratch in a newly conceived organism, but recent research has shown that a small percentage of them are actually inherited

from an organism's parents. This has led some people to question the prior belief that the theories of Jean-Baptiste de Lamarck were entirely wrong.

[7←]

For a more technical history of DNA sequencing, see James M. Heather and Benjamin Chain, «The Sequence of Sequencers: The History of Sequencing DNA,» Genomics 107, no. 1 (2016): 18, doi:10.1016/j.ygeno.2015.11.003.

[8←]

John J. Kasianowicz and Sergey M. Bezrukov, «On Three Decades of Nanopore Sequencing,» Nature Biotechnology 34 (2016): 481482.

[9←]

«OMIM Entry Statistics,» last modified July 24, 2018,
http://www.omim.org/statistics/entr
y.

[10←]

اقترح القليل من الدراسات الحديثة أنّ الطفرات الوراثية، التي تعرّض الناس لخطر الإصابة بأمراض مُندَل تشكّل 15% من مجموع السكان. إذا كان الأمر كذلك، فإنّه يتطلب أن نعيد تقييمنا للمخاطر التي تسببها الطفرات الوراثية، وربّما زيادة المخصصات المالية لإجراء البحوث، التي تساعد على فهم هذه الأمراض وإيجاد سبل لعلاجها. نظرا لأنّ البشر يوفرون عشرات الطفرات الإضافية حين يفرزون خلايا الحيامن والبويضات، فسيكون من الممكن، رغم أنّه احتمال ضعيف، أنّ أمراض مّندَل قد تنمو داخل طفل ما كان والداه يحملان طفرات معينة.

[11←]

See Jason L. Vassy et al., «The Impact of Whole-Genome Sequencing on the Primary Care and Outcomes of Healthy Adult Patients,» Annals of Internal Medicine 167, no. 3 (2017): 159, doi:10.7326/m170188; and P. Natarajan et al., «Aggregate Penetrance of Genomic Variants for Actionable Disorders in European and African Americans,» Science Translational Medicine 8, no. 364 (2016), doi:10.1126/scitranslmed.aag2367.

[12←]

Rachel D. Melamed et al., «Genetic Similarity between Cancers and Comorbid Mendelian Diseases Identifies Candidate Driver Genes,» Nature Communications, no. 1 (2015), doi:10.1038/ncomms8033.

[13←]

See Lidewij Henneman et al., «Responsible Implementation of Expanded Carrier Screening,» European Journal of Human Genetics 24, no. 6 (June 2016): e1e12. Published online 2016 Mar 16. doi: 10.1038/ejhg.2015.271; and Nancy C. Rose, «Expanded Carrier Screening: Too Much of a Good Thing?» Prenatal Diagnosis 35, no. 10 (2015): 93637, doi:10.1002/pd.4638.

[14←]

استعمِلت كلمة ~~مستساغ~~ هنا، رغم أنّ الإجهاض يمكن أن يلغي مخاطر ~~بعض أمراض مُندَل~~. لكنّه ليس من المعقول أو المرغوب فيه أن نلجأ لهذا الحلّ كلما بدت بوادر خطورة أحد هذه الأمراض.

[15←]

Heather Mason Kiefer, «Gallup Brain: The Birth of In Vitro Fertilization,» Gallup News, August 5, 2003, http://news.gallup.com/poll/8983/ga llup-brain-birth-vitro-fertilization.aspx.

[16←]

Kiefer, «Gallup Brain.»

[17←]

John M. Haas, «Begotten Not Made: A Catholic View of Reproductive Technology,» United States Conference of Catholic Bishops, 1998, http://www.usccb.org/issues-and-action/human-life-and-dignity/reproductive-technology/begotten-not-made-a-catholic-view-of-reproductive-technology.cfm.

[18←]

Jason Pontin, «Science Is Getting Us Closer to the End of Infertility,» Wired, March 27, 2018,

https://www.wired.com/story/reverse -infertility/.

[19←]

G. Edwards and R. L. Gardner, «Sexing of Live Rabbit Blastocysts,» Nature 214 (1967): 57677,

https://www.nature.com/articles/214 576a0.

[20←]

Genome Editing and Human Reproduction. Report. July 17, 2018, Nuffield Council on Bioethics. http://nuffieldbioethics.org/wp-co
ntent/uploads/Genome-editing-and-human-reproduction-FINAL-website.pdf, p. 10.

[21←]

Henry T. Greely, The End of Sex and the Future of Human Reproduction (Cambridge: Harvard University Press, 2016): 114, 331.

[22←]

The mathematics are a bit more complicated than this preliminary calculation suggests because PGT is more accurate with some categories of genetic disorders than others. Recessive conditions where both parents are heterozygous for the particular disorder, for example, would be statistically easier to identify than a dominant condition where one parent is a heterozygous carrier and the other is a noncarrier.

[23←]

Petula Dvorak, «Parents Who Refuse to Vaccinate Their Children Are Putting Others at Risk,» Washington Post, January 26, 2015,

https://www.washingtonpost.com/loca
l/parents-who-refuse-to-vaccinate
-their-children-are-putting-others-
at-risk/2015/01/26/9c538266-a5aa-
11e4-a06b-9df2002b86a0_story.html?
utm_term=.3b17e2cf1ccf.

[24←]

«Vaccines Do Not Cause Autism,» Centers for Disease Control, last modified November 23, 2015,

https://www.cdc.gov/vaccinesafety/c
oncerns/autism.html.

[25←]

Laura Entis, «Donald Trump Has Long Linked Autism to Vaccines. He Isn't Stopping Now That He's President,» Fortune, February 16, 2017,

http://fortune.com/2017/02/16/donal
d-trump-autism-vaccines/.

[26←]

Cary Funk, Brian Kennedy, and Meg Hefferon, «Public Opinion about Childhood Vaccines for Measles, Mumps, and Rubella,» Pew Research Center, February 2, 2017,

http://www.pewinternet.org/2017/02/02/public-opinion-about-childhood-vaccines-for-measles-mumps-and-rubella/.

[27←]

Julian Quinones and Arijeta Lajka, «'What Kind of Society Do You Want to Live In?': Inside the Country Where Down Syndrome Is Disappearing,» CBS News, August 15, 2017,

https://www.cbsnews.com/news/down-syndrome-iceland/.

[28←]

Susannah Maxwell, Carol Bower, and Peter O'Leary, «Impact of Prenatal Screening and Diagnostic Testing on Trends in Down Syndrome Births and Terminations in Western Australia 1980 to 2013,» Prenatal Diagnosis 35 (2015): 13241330; Manya Koetse, «The Last Downer: China and the End of Down Syndrome,» What's On Weibo, May 2, 2016,

https://www.whatsonweibo.com/china-end-syndrome/; Polina Bachlakova, «Why Are 95% of Danish Women Aborting Babies with Severe Developmental Disabilities?» VICE News, April 24, 2015,

https://www.vice.com/da/article/ex9daw/why-are-95-of-danish-women-aborting-babies-with-severe-developmental-disabilities-020; Myrthe Jacobs et al., «Pregnancy Outcome Following Prenatal Diagnosis of Chromosomal Anomaly: A Record Linkage Study of 26,261 Pregnancies,» Plos One 11 (2016).

[29←]

Yuval Levin, «Public Opinion and the Embryo Debates,» The New Atlantis 20 (2008): 4762,

https://www.thenewatlantis.com/publications/public-opinion-and-the-embryo-debates.

[30←]

Jaime L. Natoli et al., «Prenatal Diagnosis of Down Syndrome: A Systematic Review of Termination Rates (19952011),» Prenatal Diagnosis 32 (2012): 142153,

http://onlinelibrary.wiley.com/doi/
10.1002/pd.2910/abstract;jsessionid
=48749E1687B81B0E20AD95934451778E.f
01t03.

[31←]

أثار منتقدو الاختبارات وإجهاض الحوامل للأجنّة المصابة بمتلازمة داون أسئلة معقولة للغاية. مَن له الحق للقول بأنّ حياة طفل مصاب بمتلازمة داون لا تساوي حياة طفل سليم منها؟ ما هي المعايير الأخلاقية، التي يمكن تطبيقها لاتخاذ مثل هذا القرار؟ إنّ هذه الأسئلة الشخصية العميقة تنفذ إلى لبّ إنسانيتنا. غير أنّ هذه الأسئلة الوجودية لا تعني بالضرورة هي ما يطرحه الآباء والأمهات على انفسهم حين يصبح الإخصاب المختبري واختبار الأجنّة واختيارها قبل زرعها هي المعايير.

[32←]

في نظام الرعاية الصحية غير المنطقي في الولايات المتحدة، حيث يتعيّن على المواطنين تغيير شركات التأمين كلّ عامين، تصبح هذه الحوافز أقلّ توفرا.

[33←]

Henry T. Greely, The End of Sex and the Future of Human Reproduction (Cambridge: Harvard University Press, 2016).

[34←]

Kees van Gool et al., «Understanding the Costs of Care for Cystic Fibrosis: An Analysis by Age and Health State,» Value in Health 16 (2013): 345355,

https://www.sciencedirect.com/scien
ce/article/pii/S1098301512042684.

A 2010 study was far more aggressive in its estimates of the cost savings that would come from using PGT to prevent cystic fibrosis. Claiming that the average additional cost of care for a person with CF was $63,127 for an average life expectancy of thirty-seven years, the authors estimate the cumulative savings over thirty-seven years as $33.3 billion, a far larger number than mine. Additionally, according to the authors, «a total of 618,714 cumulative years of patients suffering because of CF and thousands of abortions could be prevented.» These higher estimates strengthen the cost-benefit case for universal embryo screening. I. Tur-Kaspa et al., «PGT for All Cystic Fibrosis Carrier Couples: Novel Strategy for Preventive Medicine and Cost Analysis.» Reproductive BioMedicine Online 21, no. 2 (2010): 18695. doi:10.1016/j.rbmo.2010.04.031.

[35←]

Victoria Divino et al., «The Direct Medical Costs of Huntington's Disease by Stage: A Retrospective Commercial and Medicaid Claims Data Analysis,» Journal of Medical Economics 16 (2013): 10431050,

https://www.researchgate.net/public
ation/241690299_The_Direct_Medical_
Costs_of_Huntington's_Disease_by_St
age_A_Retrospective Commercial_and_Medicaid_Claims_Data_Analysis.

[36←]

الأمراض الوراثية الشائعة تكون ذات كلفة أعلى لأنّ العديد من المواطنين مصابون بها. من الحالات النادرة التي يبلغ عددها 5000 حالة قابلة للعلاج وناجمة عن طفرة جينية واحدة، تكون كلفة معالجتها عالية للغاية لأنّها نادرة وتتطلب الكثير من الوقت والجهد لمعرفة المشكلة وكيفية التعامل معها.

[37←]

Using CDC estimates, David Sable calculates that 150,000 affected children are born annually, of which 30,000 are congenital. See David Sable, «Why the Future of Precision Medicine Runs through the IVF Lab.» Forbes, April 22, 2018.

https://bit.ly/2FF2NaS.

[38←]

«Findings Suggest Increased Number of IVF Cycles Can Be Beneficial,» The JAMA Network, December 22, 2015,

https://media.jamanetwork.com/news-
item/findings-suggest-increased-number-of-ivf-cycles-can-be-beneficial/.

[39←]

Said M. Yildiz and M. Mahmud Khan, «Opportunities for Reproductive Tourism: Cost and Quality Advantages of Turkey in the Provision of In-Vitro Fertilization (IVF) Services,» BMC Health Services Research 16 (2016): 378,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC4982316/.

[40←]

Ido Efrati, «Israel Remains an IVF Paradise as Number of Treatments Rises 11% in 2016,» Haaretz, May 11, 2017,

https://www.haaretz.com/israel-new
s/.premiumisrael-remains-as-ivf-paradise-as-number-of-treatments-rises-1.5470164.

[41←]

David Sable, «The Seven Trends That Define the Future of IVF,» Forbes, February 28, 2015,

https://www.forbes.com/sites/davids
able/2015/02/28/the-seven-trends-that-define-the-future-of-ivf/#67c863c8494b.

[42←]

Claire Cain Miller, «Freezing Eggs as Part of Employee Benefits: Some Women See Darker Message,» New York Times, October 14, 2014,

https://www.nytimes.com/2014/10/15/
upshot/egg-freezing-as-a-work-benefit-some-women-see-darker-message.html.

[43←]

Charlotte Alter, «Sheryl Sandberg Explains Why Facebook Covers Egg-Freezing,» Time, April 25, 2015, http://time.com/3835233/sheryl-san
dberg-explains-why-facebook-covers-egg-freezing/.

[44←]

The FertilityIQ Family Builder Workplace Index: 20172018,

https://www.fertilityiq.com/fertili
tyiq-data-and-notes/fertilityiq-best-companies-to-work-for-family-builder-workplace-index-20172018.

[45←]

I recognize that the widespread adoption of preimplantation embryo screening to date has been less than might have been predicted. This is likely because the procedure is in its early stage of development, expensive,and not covered by insurance in many jurisdictions, and because medical and social norms are still evolving. It may be that some jurisdictions adopt PGT at different rates, but it is my contention that adoption rates will increase over time everywhere, with the biggest jumps in places like China.

[46←]

For more on «multi-omics» systems biology, see Yehudit Hasin, Marcus Seldin, and Aldons Lusism, «Multi-Omics Approaches to Disease.» Genome Biology, May 5,

2017, accessed June 26, 2018,

https://genomebiology.biomedcentral
.com/articles/10.1186 /s13059-017-1
215-1, and Marc Santolini et al., «A Personalized, Multiomics Approach Identifies Genes Involved in Cardiac Hypertrophy and Heart Failure.» NPJ Systems Biology and Applications 4, no. 1 (2018), doi:10.1038/s41540-018-0046-3.

[47←]

Erika Check Hayden, «Human Genome at Ten: Life Is Complicated,» Nature 464 (2010): 664-667,

https://www.nature.com/news/2010/10
0331/full/464664a.html.

[48←]

إنّ حوالى 60% من الجينات تربط أمراض البشر بعلاقة مع ذباب الفاكهة. ويطوّر الباحثون مئات من سلالات الجرذان، أقرب أقاربنا، من أجل التوصل إلى إيجاد علاجات لأمراضنا. إنّ بحوث الكائنات الحية النموذجية ضرورية للغاية للتوصل إلى صنع أدوية لمعالجة الأمراض البشرية. لكنّ هذه التجارب، بطبيعة الحال، تخلق معاناة رهيبة للحيوانات المستعملة في التجريب داخل المختبرات. وهذا هو السبب الذي يفرض علينا الحاجة للتأكّد من استمرار التجارب على الحيوانات، وأن يكون ذلك ضمن ضوابط أخلاقية عالية.

[49←]

Hayden, «Human Genome at Ten.»

[50←]

Holley, Peter, «Elon Musk's Nightmarish Warning: AI Could Become 'An Immortal Dictator from Which We Would Never Escape,'» Washington Post, April 6, 2018,

https://www.washingtonpost.com/news
/innovations/wp/2018/04/06/elon-mus
ks-nightmarish-warning-ai-could-bec
ome-an-immortal-dictator-from-which
-we-would-never escape/?noredirect=on&utm_term=.b662dac58897.

[51←]

«How Much Data Does the World Generate Every Minute?» IFL Science,
http://www.iflscience.com/technolog
y/how-much-data-does-the-world-gene
rate-every-minute/.

[52←]

Deep Genomics,

https://www.deepgenomics.com/.

[53←]

«The World's Most Valuable Resource Is No Longer Oil, but Data,» The Economist, May 6, 2017,

https://www.economist.com/news/lead
ers/21721656-data-economy-demands-n
ew-approach-antitrust-rules-worlds-
most-valuable-resource.

[54←]

Michael D. Lemonick, «The Iceland Experiment,» Time, February 12, 2006,
http://content.time.com/time/printo
ut/0,8816,1158968,00.html#.

[55←]

«Harnessing the Power of Genomics through Global Collaborations and Scientific Innovation,» AstraZeneca, January 12, 2018, accessed August 5, 2018,

https://www.astrazeneca.com/media-c
entre/articles/2017/harnessing-the-
power-of-genomics-through-global-co
llaborations-and-scientific-innovat
ion-12012018.html.

[56←]

«The 1,000 Genomes Project,» Genomics England,

https://www.genomicsengland.co.uk/t
he-100000-genomes-project/.

[57←]

All of Us, National Institutes of Health,

https://allofus.nih.gov/; Gina Kolata, «The Struggle to Build a Massive 'Biobank' of Patient Data,» New York Times, March 19, 2018,

https://www.nytimes.com/2018/03/19/
health/nih-biobank-genes.html; Megan Molteni, «The NIH Launches Its Ambitious

Million-Person Genetic Survey,» Wired, May 5, 2018, accessed June 1, 2018,

https://www.wired.com/story/all-of-
us-launches/.

[58←]

As of 2018, around 600,000 veterans had been sequenced. «Million Veteran Program (MVP),» Office of Research and Development, U.S. Department of Veterans Affairs,

https://www.research.va.gov/mvp/.

[59←]

Luna DNA, accessed June 17, 2018,

https://www.lunadna.com/. Nebula Genomics also uses blockchain technology to help consumers understand how their genetic information is being used and benefit from commercial activity surrounding that information. «Nebula Genomics,» accessed August 27, 2018,

https://www.nebulagenomics.io/.

[60←]

Founded in 2005, the Personal Genome Project is an international coalition of genome projects using an open-source, volunteer strategy to bring together vast pools of genetic data matched with medical and other life records. As of March 2018, partners in the United States, Canada, United Kingdom, Austria, and China have together pooled data on a mere 522 genomes, according to Madeleine Price Ball, cofounder of the Open Humans Project, which runs the Personal Genomes Project.

[61←]

David Cyranoski, «China's Bid to Be a DNA Superpower,» Nature 534 (2016): 462-463, http://www.nature.com/news/china-s-
bid-to-be-a-dna-superpower-1.20121.

[62←]

China's Jiangsu province, to give one example, is partnering with the National Health and Family Planning Commission to sequence the genes of one million human subjects and create the largest sequencing platform and biomedical big data analysis center in Asia. Chinese companies BGI Shenzhen and WuXi NextCode, an offshoot of Iceland's deCODE, are also building massive genomic databases. See Dou

Shicong, «Jiangsu Government Unveils Plans to Sequence Genes of 1 Million Subjects,» Yicai Global, October 30, 2017,

https://www.yicaiglobal.com/news/jiangsu-government-unveils-plans-sequence-genes-1-million-subjects; «Jiangsu Officially Launches Million Population Genome Sequencing Project,» China News, October 29, 2017, http://www.chinanews.com/gn/2017/10-29/8362987.shtml; Preetika Rana, «Made-to-Order Medicine: China, U.S. Race to Decode Your Genes,» Wall Street Journal, September 20, 2017,

https://www.wsj.com/articles/china-rushes-to-surpass-u-s-in-decoding-citizens-genes-1505899806; David Cyranoski, «China Embraces Precision Medicine on a Massive Scale,» Nature News, January 6, 2016,

https://www.nature.com/news/china-embraces-precision-medicine-on-a-massive-scale-1.19108.

[63←]

Bertil Schmidt and Andreas Hildebrandt, «Next-Generation Sequencing: Big Data Meets High Performance Computing,» Drug Discovery Today 22 (2017): 712-717.

[64←]

Valeria D'Argenio, «The High-Throughput Analyses Era: Are We Ready for the Data Struggle?» High-Throughput 7 (2018): 8.

[65←]

«White House Precision Medicine Initiative,» National Archives and Records Administration,

https://obamawhitehouse.archives.gov/node/333101. The Precision Medicine Initiative later morphed into the Cancer Moonshot and All of Us initiatives. William Lane and his colleagues released an important study in 2018 showing how whole genome sequencing could do a far more precise job blood typing for transfusions than the traditional blood-typing model, potentially saving many lives. Robert Flower, Eileen Roulis, and Catherine Hyland, «Whole-Genome Sequencing Algorithm for Blood-Group Typing,» The Lancet Haematology 5, no. 6 (2018): doi:10.1016/s2352-3026(18)30064-4.

[66←]
كلّ هذه طبعا متوفرة في النظام الصحي الأمريكي غير العقلاني للغاية، والذي يخلق العديد من الحوافز الضّارة لكلّ مواطن.

[67←]
Robert Green et al., «Whole-Genome Sequencing in Primary Care,» Annals of Internal Medicine 167, no. 3 (2017): doi:10.7326/p17-9040.

[68←]
Amit V. Khera et al., «Genome-Wide Polygenic Scores for Common Diseases Identify Individuals with Risk Equivalent to Monogenic Mutations,» Nature Genetics 50 (August 13, 2018): doi:10.1038/s41588-018-0183-z.

[69←]
«About Genomic Prediction,» Genomic Prediction, accessed August 5, 2018,

https://genomicprediction.com/about/.

[70←]
Bouchard et al., «Sources of Human Psychological Differences: The Minnesota Study of Twins Reared Apart,» Science 250 (1990): 223228,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/2218526.

[71←]
Bouchard et al., «Sources of Human Psychological Differences.»

[72←]
J. Polderman et al., «Meta-Analysis of the Heritability of Human Traits Based on Fifty Years of Twin Studies,» Nature Genetics 47 (2015): 702709,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/25985137.

[73←]
Daniel Schwekendiek, «Determinants of Well-Being in North Korea: Evidence from the Post-Famine Period,» Economics & Human Biology 6 (2008): 446454. The malnourishment of a pregnant mother can lead to lower cognitive function, shorter stature, immune deficiencies, shorter life spans, and many other problems. Caroline H. D. Fall, «Fetal Malnutrition and Long-Term Outcomes,» in Maternal and Child

Nestlé Nutrition Institute Workshop Series th Nutrition: The First 1,000 Days, 74 (2013): 1125, doi:10.1159/000348384.

[74←]

Chao-Qiang Lai, «How Much of Human Height Is Genetic and How Much Is Due to Nutrition?» Scientific American, December 11, 2006,

https://www.scientificamerican.com/
article/how-much-of-human-height/.

[75←]

Louis Lello et al., «Accurate Genomic Prediction of Human Height,» BioRxiv (2017),

https://www.biorxiv.org/content/ear
ly/2017/10/07/190124.

[76←]

Lello et al.; Stephen Hsu, «Genomic Prediction of Complex Traits,» lecture, The Paul G. Allen Frontiers Group, January 19, 2018, http://infoproc.blogspot.com/2018/0
1/allen-institute-meeting-on-genetics-of.html.

[77←]

Ian J. Deary, «Intelligence,» Current Biology 23 (2013): R673R676,
http://www.cell.com/current-biolog
y/fulltext/S09609822(13)008440; Yan Zhang et al., «Estimation of Complex Effect-Size Distributions Using Summary-Level Statistics from Genome-wide Association Studies across 32 Complex Traits and Implications for the Future,» BioRxiv (2017),

https://www.biorxiv.org/content/bio
rxiv/early/2017/08/11/175406.full.p
df; Stephen Hsu, «Genomic Prediction of Complex Traits.»

[78←]

Yan Zhang et al., «Estimation of Complex Effect-Size Distribution.»

[79←]

Deary, «Intelligence.»

[80←]

Charles Spearman, «'General Intelligence,' Objectively Determined and Measured,» American Journal of Psychology 15, no. 2 (1904): 20193, http://

dx.doi.org/10.2307/1412107.

[81←]

Brian Resnick, «IQ, Explained in 9 Charts,» Vox, October 10, 2017,

https://www.vox.com/2016/5/24/11723
182/iq-test-intelligence. Robert Plomin and Sophie Von Stumm, «The New Genetics of Intelligence,» Nature Reviews Genetics 19, no. 3 (2018): 14859, doi:10.1038/nrg.2017.104.

[82←]

Patrick F. McKay et al., «The Effects of Demographic Variables and Stereotype Threat on Black/White Differences in Cognitive Ability Test Performance,» Journal of Business and Psychology 18 (2003): 114,

https://link.springer.com/article/1
0.1023/A:1025062703113. See also Daphne Martschenko, «The IQ Test Wars: Why Screening for Intelligence Is Still So Controversial,» The Conversation, October 10, 2017, accessed June 26, 2018,

https://theconversation.com/the-iq-test-wars-wh-screening-for-intelligence-is-still-so-controversial-81428.

[83←]

Richard J. Herrnstein and Charles A. Murray, The Bell Curve: Intelligence and Class Structure in American Life (New York: Free Press, 1997). This book was first published in 1994.

[84←]

Bob Herbert, «In America; Throwing a Curve,» New York Times, October 26, 1994, accessed June 26, 2018.

https://www.nytimes.com/1994/10/26/
opinion/in-america-throwing-a-curve.html.

[85←]

Stephen Jay Gould, «Curveball,» New Yorker, November 28, 1994,
http://www.dartmouth.edu/~chance/co
urse/topics/curveball.html. For a thoughtful, strong critique of The Bell Curve see also Siddhartha Mukherjee, The Gene: An Intimate History (London: Vintage, 2017), 343.

[86←]

For a compilation of some of these critiques, see Steve Fraser, The Bell Curve Wars: Race, Intelligence, and the Future of America (New York: BasicBooks, 1998). See also Eric Siegel, «The Real Problem with Charles Murray and 'The Bell Curve,'» Scientific American Blog Network, April 12, 2017, accessed June 17, 2018.

https://blogs.scientificamerican.co
m/voices/the-real-problem-with-charles-murray-and-the-bell-curve/.

[87←]

Reprinted in Linda S. Gottfredson, «Mainstream Science on Intelligence: An Editorial with 52 Signatories, History, and Bibliography,» Intelligence 24, no. 1 (1997): 1323, doi:10.1016/s01602896(97)900118. The American Psychological Association also created a special task force to assess the findings of the book that arrived at similar results.

[88←]

Bouchard et al., «Sources of Human Psychological Differences.»

[89←]

Plomin and I. J. Deary, «Genetics and Intelligence Differences: Five Special Findings,» Molecular Psychiatry 20 (2014): 98108,

https://www.nature.com/articles/mp2
014105.pdf.

[90←]

Thomas J. Bouchard, «The Wilson Effect: The Increase in Heritability of IQ with Age,» Twin Research and Human Genetics 16, no. 5 (2013): 92330, doi:10.1017/thg.2013.54. Because IQ is a relative term, genetics would need to be a more important factor in IQ as we age relative to other people as they age. Another study suggested that adult IQ is 80 percent heritable. Valerie S. Knopik et al., ed. (Worth Publishers, 2016); Susan Bouregy, Elena L.thBehavioral Genetics, 7 Grigorenko, and Stephen R. Latham, Genetics, Ethics and Education (Cambridge: Cambridge University Press, 2017).

[91←]

Eric Turkheimer et al., «Socioeconomic Status Modifies Heritability of IQ in Young Children,» Psychological Science 14 (2003): 623628.

[92←]

Mutations and variants are essentially the same thing, but we tend to call them mutations when they are disease-related and often rarer, and we call them variants when they impact nondisease traits and are more common. Some researchers have recently begun using the term pathogenic variant instead of mutation to make this point. Because the line between disorders and traits is so squishy, these terms are largely interchangeable.

[93←]

D. Hill et al., «A Combined Analysis of Genetically Correlated Traits Identifies 187 Loci and a Role for Neurogenesis and Myelination in Intelligence,» Molecular Psychiatry (2018): doi:10.1038/s41380-017-0001-5,

https://www.nature.com/articles/s41
380-017-0001-5; D. Zabaneh et al., «A Genome-Wide Association Study for Extremely High Intelligence,» Molecular Psychiatry 23 (July 4, 2017): 12261232,

https://www.nature.com/articles/mp2
017121; Gail Davies et al., «Ninety-Nine Independent Genetic Loci Influencing General Cognitive Function Include Genes Associated with Brain Health and Structure,» BioRxiv (2017),

https://www.biorxiv.org/content/bio
rxiv/early/2017/08/18/176511.full.p
df; Robert Plomin and Sophie von Stumm, «The New Genetics of Intelligence,» Nature Reviews Genetics 19 (January 8, 2018): 148159, doi:10.1038/nrg.2017.104,

https://www.nature.com/articles/nrg
.2017.104. The number will likely exceed two hundred by the time this book is published.

[94←]

Suzanne Sniekers et al., «Genome-Wide Association Meta-analysis of 78,308 Individuals Identifies New Loci and Genes Influencing Human Intelligence,» Nature Genetics 49 (2017): 11071112.

[95←]

Already, researchers are moving from the bottom-up model of inferring general intelligence from identifying single-gene mutations to a more top-down approach, based on the big-data analytics of patterns identified in all of these mutations. See Plomin and Stumm, «The New Genetics of Intelligence.»

[96←]

Yan Zhang et al., «Estimation of Complex Effect-Size Distributions Using Summary-Level Statistics from Genome-wide Association Studies across 32 Complex Traits and Implications for the Future,» BioRxiv (2017),

https://www.biorxiv.org/content/bio
rxiv/early/2017/08/11/175406.full.p
df; Stephen Hsu, «Genomic Prediction of Complex Traits,» lecture, The Paul G. Allen Frontiers Group, January 19, 2018, http://infoproc.blogspot.com/2018/0
1/allen-institute-meeting-on-genetics-of.html; «Heritability,» SNPedia, last modified March 13, 2018,

https://www.snpedia.com/index.php/H
eritability. A preliminary list of select diseases and human body conditions estimated to be on average 50 percent or more genetic on SNPedia.com, a genetics wiki that brings together scientific research from around the world, includes: abdominal aortic aneurysm, acne, age-related macular degeneration, alcoholism, Alzheimer's disease, androgenic alopecia, anorexia, attention deficit hyperactivity disorder, beard thickness, bipolar disorder, bone mineral density, celiac disease, chronic obstructive pulmonary disease, Crohn's disease, Dupuytren's disease, eczema, epilepsy, eye color, freckle counts, Graves' disease, hair color, hair curliness, height, kidney stones, lupus, menarche, monobrow, polycystic ovary syndrome, psoriasis, rheumatoid arthritis, schizophrenia, sexual orientation, stuttering, thyroid cancer, Tourette's syndrome, type 1 diabetes, and varicose veins. The full list will eventually include many tens of thousands of diseases and traits.

[97←]

Bouchard et al., «Sources of Human Psychological Differences.»

[98←]

Min-Tzu Lo et al., «Genome-Wide Analyses for Personality Traits Identify Six Genomic Loci and Show Correlations with Psychiatric Disorders,» Nature Genetics 49 (2017): 152156,

https://www.nature.com/articles/ng.3736.

[99←]

إنّ حساب التفاضل والتكامل calculus هذا سيغيّر لو ثبت أنّ الحصول على الأطفال بواسطة الإخصاب المختبري IVF والمسح الجيني الكامل PGT لأمهّات كبار السنّ أو من اللواتي يشكل الحمل لهن مخاطر، فإنّ مثل هذا التقييم يتطلب مقارنة الأمهات «المتشابهات» تماما. وبحدود علمنا، هناك دلائل قليلة للغاية بأنّ الأمر هو على تلك الحال.

[100←]

«Masturbatorium,» Wiktionary, last modified June 7, 2017,

https://en.wiktionary.org/wiki/mast
urbatorium.

[101←]

«Odontophilia,» Urban Dictionary, accessed June 26, 2018,

https://www.urbandictionary.com/def
ine.php?term=Odontophilia.

[102←]

Japan has both the highest percentage of IVF births and the lowest success rate among industrialized countries. This is in part because the women receiving IVF tend to be older than their counterparts in other countries and because the IVF industry in Japan has inconsistent standards. See «A Corked Tube: No Country Resorts to IVF More Than Japanor Has Less Success,» The Economist, May 26, 2018,

https://www.economist.com/asia/2018
/05/26/no-country-resorts-to-ivf-more-than-japan-or-has-less-success.

[103←]

Gary J. Gates, «In U.S., More Adults Identifying as LGBT,» Gallup, January 11, 2017, http://news.gallup.com/poll/201731/
lgbt-identification-rises.aspx. Measures of the exact size of the U.S. and global LGBTQIAP populations are inherently imperfect and do not account for the gender and sexual orientation fluidity, particularly common among younger generations. See: Katy Steinmetz, «Inside the Efforts to Finally Identify the Size of the Nation's LGBT Population,» Time, May 18, 2016, http://time.com/lgbt-stats/.

[104←]

Elizabeth Cohen, «Researchers Isolate Human Stem Cells in the Lab,» CNN Interactive, November 5, 1998, http://www.cnn.com/HEALTH/9811/05/s
tem.cell.discovery/.

[105←]

Jessica Reaves, «The Great Debate over Stem Cell Research,» Time, July 11, 2001, http://content.time.com/time/nation
/article/0,8599,167245,00.html.

[106←]

Hayashi, «Offspring from Oocytes Derived from In Vitro Primordial Germ Cell-Like Cells in Mice,» Science 16 (2012): 971975,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/23042295. Interestingly, Hayashi is also leading efforts to use induced stem-cell technology to save the endangered white rhino from extinction.

[107←]

David Cyranoski, «Rudimentary Egg and Sperm Cells Made from Stem Cells,» Nature, December 24, 2014,

https://www.nature.com/news/rudimen
tary-egg-and-sperm-cells-made-from-stem-cells-1.16636.

[108←]

Naoko Irie, Shinseog Kim, and M. Azim Surani, «Human Germline Development from Pluripotent Stem Cells In Vitro,» Journal of Mammalian Ova Research 33 (2016): 7987; Naoko Irie and M. Azim Surani, «Efficient Induction and Isolation of Human Primordial Germ Cell-like Cells from Competent Human Pluripotent Stem Cells» in Germline Stem Cells, ed. Steven X. Hou and Shree Ram Singh, in Methods in Molecular Biology 1463 (2016): 217226. Caution is also in order here. One of the four Yamanaka «master genes» mycis among the most aggressive catalysts of cancer.

[109←]

CIA World Factbook, Central Intelligence Agency, accessed May 21, 2018.

https://www.cia.gov/library/publica
tions/the-world-factbook/fields/2256.html.

[110←]

Carl Shulman and Nick Bostrom, «Embryo Selection for Cognitive Enhancement: Curiosity or Game-Changer?» Global Policy 5 (2014): 8592,

https://nickbostrom.com/papers/embr
yo.pdf.

[111←]

Stephen Hsu, «Super-Intelligent Humans Are Coming,» Nautilus, October 16, 2014, http://nautil.us/issue/18/genius/su

per_intelligent-humans-are-coming.

[112←]

«Method of the Year 2011,» Nature Methods 9 (2012): 1,

https://www.nature.com/articles/nme
th.1852.

[113←]

Eric S. Lander, «The Heroes of CRISPR,» Cell 164 (2016): 1828.

[114←]

See «CRISPR Off-Targets: A Reassessment,» Nature News, March 30, 2018, accessed May 8, 2018,

https://www.nature.com/articles/nme
th.4664.

[115←]

انطلق نقاش حام بين العلماء إثر دراسة عام 2017، التي فُضحت فيما بعد وتمّ التراجع عنها. اقترح هذا النقاش أنّ التأثيرات، تجاوزت الأهداف المرسومة لنظام كرِسپر، وكانت أكبر ممّا كان مفهوما مسبقا.

[116←]

«SHERLOCK, DETECTR, CAMERA: Three New CRISPR Technologies.,» AACC, accessed May 8, 2018,

https://www.aacc.org/publications/c
ln/cln-stat/2018
/march/15/sherlock-detectr-camera-three-new-crispr-technologies.

[117←]

Pratiksha I. Thakore et al., «Editing the Epigenome: Technologies for Programmable Transcription and Epigenetic Modulation,» Nature Methods 13 (2016): 127137,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC4922638/.

[118←]

David Cano-Rodriguez and Marianne G. Rots, «Epigenetic Editing: On the Verge of Reprogramming Gene Expression at Will,» Current Genetic Medicine Reports 4 (2016): 170179,

https://link.springer.com/article/1
0.1007/s40142-016-0104-3; Heidi Ledford, «CRISPR: Gene Editing Is Just the Beginning,» Nature 531 (2016): 156159,

https://www.nature.com/news/crispr-
gene-editing-is-just-the-beginning-1.19510.

[119←]

Emily Waltz, «Gene-Edited CRISPR Mushroom Escapes U.S. Regulation,» Nature 532 (2016): 293,

https://www.nature.com/news/gene-e
dited-crispr-mushroom-escapes-us-regulation-1.19754.

[120←]

Because neither the «Arctic apple» nor the nonbrowning mushrooms have foreign DNA in them, they are technically not GMOs as traditionally defined. On March 28, 2018, U.S. Secretary of Agriculture Sonny Perdue announced that gene-edited plants where no foreign DNA had been introduced would not be regulated as GMOs by the USDA. This is causing consternation among many GMO advocates concerned about any genetic alteration of the food supply. In November 2018, a coalition of thirteen countries, including the United States, Canada, and Brazil, announced at a World Trade Organization meeting in Geneva that they would support policies that enable genome editing in agriculture. Amy Maxmen, «Genetically Modified Apple Reaches U.S. Stores, but Will Consumers Bite?» Nature 551 (2017): 149-150,

https://www.nature.com/news/genetic
ally-modified-apple-reaches-us-stor
es-but-will-consumers-bite-1.22969. See also: «Secretary Perdue Issues USDA Statement on Plant Breeding Innovation.» USDA, March 28, 2018, accessed June 1, 2018,

https://www.usda.gov/media/pressre
leases/2018/03/28/secretary-perdue-issues-usda-statement-plant-breeding-innovation and Emily Waltz, «CRISPR CropsExempt from GMO RegulationsReaching U.S. Market in Record Time,» Genetic Literacy Project, January 15, 2018,

https://geneticliteracyproject.org/
2018/01/15/crispr-crops-exempt-gmo-regulations-reaching-us-market-record-time/. The European Court of Justice came to a similar conclusion in an opinion released

in 2018: «Opinion of Advocate General Bobek delivered on 18 January 2018(1),» Case C-528/16, accessed June 6, 2018,

http://curia.europa.eu/juris/document/document.jsf?text=&docid=198532&pageIndex=0&doclang=EN&mode=req&dir=&occ=first&part=1&cid=779174.

This EU decision was then overturned by Europe's highest court, which ruled in July 2018 that crops altered by gene-editing techniques like CRISPR, even when no foreign DNA was added, would be regulated with the same stringency as GMOs. «Organisms Obtained by Mutagenesis Are GMOs and Are, in Principle, Subject to the Obligations Laid Down by the GMO Directive,» Court of Justice of the European Union, press release no. 111/18, Luxembourg, July 25, 2018, Judgment in Case C-528/16,

https://curia.europa.eu/jcms/upload/docs/application/pdf/201807/cp180111en.pdf.

[121←]

Vitamin A has been genetically engineered into maize, cassava, and sweet potatoes; iron into beans and pearl millet; and zinc into rice and wheat. See Heather Ohly and Nicola Lowe, «Scientists Are Breeding Super-Nutritious Crops to Help Solve Global Hunger,» The Conversation, June 1, 2018, accessed June 3, 2018,

https://theconversation.com/scientists-are-breeding-super-nutritious-crops-to-help-solve-global-hunger-89815.

[122←]

Bill Gates, «Gene Editing for Good,» Foreign Affairs (May/June 2018), accessed May 3, 2018,

https://www.foreignaffairs.com/articles/2018-04-10/gene-editing-good.

[123←]

Tom Whipple, «Bill Gates Pumps Millions into Quest for a Supercow,» The Times, January 26, 2018,

https://www.thetimes.co.uk/article/bill-gates-pumps-millions-into-quest-for-a-supercow-7swc6dntw.

[124←]

Sara Reardon, «Welcome to the CRISPR Zoo,» Nature 531 (2016): 160163,

https://www.nature.com/news/welcome
-to-the-crispr-zoo-1.19537. BGI Shenzhen announced in 2017 it was dropping its micropig program, likely because the press attention it was getting detracted from the company's initial public offering.

[125←]

For a fun description of this process, see Ben Mezrich, Woolly: The True Story of the Quest to Revive One of History's Most Iconic Extinct Creatures (New York: Simon & Schuster, 2018); and also, George Church and Ed Regis, Regenesis (New York: Basic Books, 2014): 1011.

[126←]

يولد الفرق بين العلاج الجيني وتعديل الجينات لدى بعض الناس قدرا من الإرتباك، لأنّ العمليتين قريبتان من بعضهما. إنّ هندسة الجينات وتعديل الجينات هي طرق تستعمَل في العلاجات الجينية ولها استخدامات عديدة. إنّ كافة العلاجات الجينية هي هندسة جينية، ولكن ليست كافة أنواع الهندسة الجينية، هي نوع من العلاجات الجينية.

[127←]

Barbara Sibbald, «Death But One Unintended Consequence of Gene-Therapy Trial,» Canadian Medical Association Journal 164 (2001): 1612,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC81135/; Osagie K. Obasogie, «Ten Years Later: Jesse Gelsinger's Death and Human Subjects Protection,» The Hastings Center, October 22, 2009,

https://www.thehastingscenter.org/t
en-years-later-jesse-gelsingers-death-and-human-subjects-protection/.

[128←]

Roland W. Herzog, Ou Cao, and Arun Srivastava, «Two Decades of Clinical Gene TherapySuccess Is Finally Mounting,» Discovery Medicine 9 (2010): 10511,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC3586794/.

[129←]

Herzog, Cao, and Srivastava, «Two Decades of Clinical Gene Therapy.»

[130←]

Calvin J. Stephens et al., «Targeted In Vivo Knock-in of Human Alpha-1-antitrypsin CDNA Using Adenoviral Delivery of CRISPR/Cas9,» Gene Therapy 25, no. 2 (2018): 13956. doi:10.1038/s41434-018-0003-1.

[131←]

Francis S. Collins and Scott Gottlieb, «The Next Phase of Human Gene-Therapy Oversight,» New England Journal of Medicine (August 15, 2018): doi:10.1056/nejmp1810628.

[132←]

H-Y Xue et al., «In Vivo Gene Therapy Potentials of CRISPR-Cas9,» Gene Therapy 23 (2016): 557559,

https://www.nature.com/articles/gt2
01625.

[133←]

Lukas Villiger et al., «Treatment of a Metabolic Liver Disease by in Vivo Genome Base Editing in Adult Mice,» Nature Medicine 24, no. 10 (October 2018): 1519-525, doi:10.1038/s41591-018-0209-1.

[134←]

Collins and Gottlieb, «The Next Phase of Human Gene-Therapy Oversight.»

[135←]

Megan Molteni, «Biology Will Be the Next Great Computing Platform,» Wired, May 3, 2018, accessed May 4, 2018,

https://www.wired.com/story/biology
-will-be-the-next-great-computing-platform/.

[136←]

Gerald Schwank et al., «Functional Repair of CFTR by CRISPR/Cas9 in Intestinal Stem Cell Organoids of Cystic Fibrosis Patients,» Cell Stem Cell 13 (2013): 653658, http://www.cell.com/cell-stem-cell/fulltext/S19345909(13)004931.

[137←]

Hao Yin et al., «Genome Editing with Cas9 in Adult Mice Corrects a Disease Mutation and Phenotype,» Nature Biotechnology 32 (2014): doi:10.1038/nbt.2884; Yanjiao Shao et al., «Cas9-Nickase-Mediated Genome Editing Corrects Hereditary

Tyrosinemia in Rats,» Journal of Biological Chemistry 293, no. 18 (2018): 6883892. doi:10.1074/jbc.ra117.000347.

[138←]

Puping Liang et al., «CRISPR/Cas9-Mediated Gene Editing in Human Tripronuclear Zygotes,» Protein & Cell 6 (2015): 363372, http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25894090.

[139←]

Rafal Kaminski, «Elimination of HIV-1 Genomes from Human T-lymphoid Cells by CRISPR/Cas9 Gene Editing,» Scientific Reports 6 (2016).

[140←]

Hong Ma, «Correction of a Pathogenic Gene Mutation in Human Embryos,» Nature 548 (2017): 413419.

[141←]

Chengzu Long et al., «Correction of Diverse Muscular Dystrophy Mutations in Human Engineered Heart Muscle by Single-Site Genome Editing,» Science Advances 4 (2018), http://advances.sciencemag.org/cont
ent/4/1/eaap9004.

[142←]

Alice Park, «Food and Drug Administration Approves a New Way to Use Gene Therapy,» Time, December 20, 2017, accessed June 17, 2018.
http://time.com/5073751/gene-thera
py-visual-impairment/.

[143←]

تؤثر الجينات النووية في عمليات الميتوكوندريا وتتأثّر بها.

[144←]

Serena H. Chen et al., «A Limited Survey-Based Uncontrolled Follow-Up Study of Children Born after Ooplasmic Transplantation in a Single Centre.» Reproductive BioMedicine Online 33, no. 6 (2016): 73744, doi:10.1016/j.rbmo.2016.10.003.

[145←]

Rosa J. Castro, «Mitochondrial Replacement Therapy: The UK and U.S. Regulatory Landscapes,» Journal of Law and the Biosciences 3 (2016): 72635,

https://academic.oup.com/jlb/articl
e/3/3/726/2566730.

[146←]

Although information about the UK mitochondrial transfer embryos is being withheld from the public until the babies are born, the 2019 date is both a logical inference based on when the treatments began to be administered in 2018 and on private correspondence with parties directly involved in this process. Because the final edits of Hacking Darwin were submitted in November 2018, it was not possible to include the exact birth date of the first UK mitochondrial transfer baby in this edition of the book. Ian Sample, «UK Doctors Select First Women to Have 'Three-Person Babies,'» The Guardian, February 1, 2018,

https://www.theguardian.com/science
/2018/feb/01/permission-given-to-create-britains-first-three-person-babies.
Singapore is also considering whether to authorize clinical trials of mitochondrial transfer.

[147←]

Darwin Life,

https://www.darwinlife.com/. In August 2017, however, Zhang received a letter from the FDA telling him that his public offer to place the DNA of older women into the donor eggs of younger women «cannot legally be performed in the United States. Nor is exportation permitted.» See Ariana Eunjung Cha, «This Fertility Doctor Is Pushing the Boundaries of Human Reproduction, with Little Regulation.» Washington Post, May 14, 2018, accessed June 1, 2018,

https://www.washingtonpost.com/nati
onal
/health-science/this-fertility-doctor-is-pushing-the-boundaries-of-human-reproduction-with-little-regulation/2018/05/11/ea9105dc-1831-11e8-8b08-027a6ccb38eb_story.html?utm_term=.220a3ce466e2.

[148←]

Rob Stein, «Clinic Claims Success in Making Babies With 3 Parents' DNA.» NPR, June 06, 2018, accessed June 7, 2018,

https://www.npr.org/sections/health
-shots/2018/06/06/615909572/inside-the-ukrainian-clinic-making-3-parent-babies-for-women-who-are-infertile.

[149←]

C. Sallevelt et al., «Preimplantation Genetic Diagnosis for Single Gene Disorders,» Journal of Medical Genetics 50 (2013): 125132, http://jmg.bmj.com/content/50/2/125
.long.

[150←]

Shoukhrat Mitalipov et al., «Limitations of Preimplantation Genetic Diagnosis for Mitochondrial DNA Diseases,» Cell Reports 7, no. 4 (2014): 93537, doi:10.1016/j.celrep.2014.05.004.

[151←]

«Mitochondrial Replacement Therapy,» United Mitochondrial Disease Foundation,

https://www.umdf.org/mitochondrial-
replacement-therapy/.

[152←]

Rachel Kahn Best, «Disease Politics and Medical Research Funding,» American Sociological Review 77 (2012): 780803, http://journals.sagepub.com/doi/10.
1177/0003122412458509; Sara Reardon, «Lobbying Sways NIH Grants.» Nature 515 (November 2014): 19.

[153←]

David Cyranoski and Sara Reardon, «Chinese Scientists Genetically Modify Human Embryos,» Nature, April 22, 2015,

https://www.nature.com/news/chinese
-scientists-genetically-modify-human-embryos-1.17378.

[154←]

Ewen Callaway, «Second Chinese Team Reports Gene Editing in Human Embryos,» Nature, April 8, 2016,

https://www.nature.com/news/second-
chinese-team-reports-gene-editing-in-human-embryos-1.19718#/b2.

[155←]

Hong Ma et al., «Correction of a Pathogenic Gene Mutation in Human Embryos,» Nature 548 (2017): 413419,

https://www.nature.com/articles/nat
ure23305.

[156←]

Pam Belluck, «In Breakthrough, Scientists Edit a Dangerous Mutation from Genes in Human Embryos,» New York Times, August 2, 2017,

https://www.nytimes.com/2017/08/02/science/gene-editing-human-embryos.html.

[157←]

Flannick et al., «Loss-of-Function Mutations in SLC30A8 Protect against Type 2 Diabetes,» Nature Genetics 46 (2014): 357363,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/24584071.

[158←]

Rong Liu et al., «Homozygous Defect in HIV-1 Coreceptor Accounts for Resistance of Some Multiply-Exposed Individuals to HIV-1 Infection,» Cell 86 (1996): 367377,
http://www.cell.com/abstract/S0092
8674(00)801105.

[159←]

Christopher P. Cannon et al., «Ezetimibe Added to Statin Therapy after Acute Coronary Syndromes,» New England Journal of Medicine 372 (2015): 23872397,
http://www.nejm.org/doi/full/10.105
6/NEJMoa1410489.

[160←]

Yanfang Fu et al., «High-Frequency Off-Target Mutagenesis Induced by CRISPR-Cas Nucleases in Human Cells,» Nature Biotechnology 31 (2013): 822826.

[161←]

David Cyranoski and Sara Reardon, «Chinese Scientists Genetically Modify Human Embryos,» Nature, April 22, 2015,

https://www.nature.com/news/chinese
-scientists-genetically-modify-human-embryos-1.17378.

[162←]

Emma Haapaniemi et al., «CRISPRCas9 Genome Editing Induces a P53-mediated DNA Damage Response.» Nature Medicine, 2018, doi:10.1038/s41591-018-0049-z.

[163←]

Kosicki, Michael, Kärt Tomberg, and Allan Bradley. «Repair of Double-Strand Breaks Induced by CRISPR-Cas9 Leads to Large Deletions and Complex Rearrangements.» Nature Biotechnology 36 (July 16, 2018): 765771. The share price of CRISPR-related companies regularly dip when major reports like this are released. CRISPR Therapeutics, Editas Medicine, and Intellia Therapeutics lost a collective $300 million in share value the day this report was released in July 2018.

[164←]

Emily Mullin, «CRISPR 2.0 Is Here, and It's Way More Precise,» MIT Technology Review, October 25, 2017,

https://www.technologyreview.com/s/
609203/crispr-20-is-here-and-its-way-more-precise/.

[165←]

Mullin, «CRISPR 2.0 Is Here, and It's Way More Precise.»

[166←]

Nicole M. Gaudelli et al., «Programmable Base Editing of A T to G C in Genomic DNA without DNA Cleavage,» Nature 551 (2017): 464471,
http://evolve.harvard.edu/138-ABE.
pdf.

[167←]

Yanting Zeng et al., «Correction of the Marfan Syndrome Pathogenic FBN1 Mutation by Base Editing in Human Cells and Heterozygous Embryos,» Molecular Therapy, August 13, 2018. doi:10.1016/j.ymthe.2018.08.007.

[168←]

Michael Gapinske et al., «CRISPR-SKIP: Programmable Gene Splicing with Single Base Editors,» Genome Biology 19, no. 1 (2018). doi:10.1186/s13059-018-1482-5.

[169←]

Cassandra Willyard, «The Epigenome Editors: How Tools Such as CRISPR Offer New Details about Epigenetics,» Nature Medicine 23, no. 8 (2017): 90003,

doi:10.1038/nm0817900; Ianis G. Matsoukas, «Commentary: RNA Editing with CRISPR-Cas13,» Frontiers in Genetics 9 (2018), doi:10.3389/fgene.2018.00134.

[170←]

Zhuchi Tu et al., «Promoting Cas9 Degradation Reduces Mosaic Mutations in Non-Human Primate Embryos,» Scientific Reports 7 (2017),

https://www.nature.com/articles/sre
p42081; Michael Le Page, «Mosaic Problem Stands in the Way of Gene Editing Embryos,» New Scientist, March 15, 2017,

https://www.newscientist.com/articl
e/mg23331174400-mosaic-problem-stands-in-the-way-of-gene-editing-embryos/; P. Singh, J. C. Schimenti, and E. Bolcun-Filas, «A Mouse Geneticist's Practical Guide to CRISPR Applications,» Genetics 199 (2014): 115,
http://www.genetics.org/content/199
/1/1.full; Michael Le Page, «Male Infertility Cure Will Be Gateway to Editing Our Kids' Genes,» New Scientist, June 23, 2016,

https://www.newscientist.com/articl
e/2094926-male-infertility-cure-will-be-gateway-to-editing-our-kids-genes/.

[171←]

Hong Ma et al., «Correction of a Pathogenic Gene Mutation in Human Embryos,» Nature 548 (2017): 413419,

https://www.nature.com/articles/nat
ure23305.

[172←]

Dieter Egli et al., «Inter-homologue Repair in Fertilized Human Eggs?» BioRxiv (2017).

[173←]

Adikusuma, Fatwa, Sandra Piltz, Mark A. Corbett, Michelle Turvey, Shaun R. Mccoll, Karla J. Helbig, Michael R. Beard, James Hughes, Richard T. Pomerantz, and Paul Q. Thomas. «Large Deletions Induced by Cas9 Cleavage,» Nature 560, no. 7,717 (2018). doi:10.1038/s41586-018-0380-z; Dieter Egli, et al. «Inter-homologue Repair in Fertilized Human Eggs?» Nature 560 (2018); Fatwa Adikusuma et al., «Large Deletions Induced by Cas9 Cleavage,» Nature 560 (August 2018): E8E9.

[174←]

Genome Editing and Human Reproduction. Report. July 17, 2018, Nuffield Council on Bioethics. http://nuffieldbioethics.org/wpcon
tent/uploads/Genome-editing-and-human-reproduction-FINAL-website.pdf, p. 45.

[175←]

Dennis Normile, «CRISPR Bombshell: Chinese Researcher Claims to Have Created Gene-Edited Twins,» Science, November 26, 2018,

https://www.sciencemag.org/news/201
8/11/crispr-bombshell-chinese-resea
rcher-claims-have-created-gene-edit
ed-twins.

[176←]

Jacob Gratten and Peter M. Visscher, «Genetic Pleiotropy in Complex Traits and Diseases: Implications for Genomic Medicine,» Genome Medicine 8 (2016),

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC4952057/.

[177←]

Evan A. Boyle et al., «An Expanded View of Complex Traits: From Polygenic to Omnigenic,» Cell 169 (2017): 11771186, http://www.cell.com/cell/fulltext/S
00928674(17)306293.

[178←]

The omnigenic hypothesis remains controversial and has been hotly debated by scientists since the publication of the 2017 Boyle and Li article in Cell. See «The Omnigenic Model: Special Issue,» Journal of Psychiatry and Brain Science 2, no. 5 (2017). doi:10.20900/jpbs.20170014s1, http://jpbs.qingres.com/IssueList.a
spx?yearsno=2017&volumeno=2&issueno
=5 and Naomi Wray et al., «Common Disease Is More Complex Than Implied by the Core Gene Omnigenic Model,» Cell 173, no. 7(June 14, 2018): 1573-1580, doi:10.1016/j.cell.2018.05.051.

[179←]

I hope you will visit the website of this incredible project: http://www.openworm.org/.

[180←]

Lucy Black, «A Worm's Mind in a Lego Body,» I Programmer, November 16, 2014, http://www.i-programmer.info/news/105-artificial-intelligence/7985-a-worms-mind-in-a-lego-body.html#.

[181←]

Human Cell Atlas,

https://www.humancellatlas.org/.

[182←]

Ray Kurzweil, «The Law of Accelerating Returns,» Kurzweil Accelerating Intelligence, March 7, 2001, http://www.kurzweilai.net/the-law-of accelerating-returns.

[183←]

Ray Kurzweil, The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology (London: Duckworth, 2016): 39. For a wonderful explanation, see also Tim Urban, «The Artificial Intelligence Revolution: The Road to Superintelligence,» Wait But Why, January 22, 2015,

https://waitbutwhy.com/2015/01/arti
ficial-intelligence-revolution-1.html.

[184←]

Homer, The Iliad, trans. Robert Fagles (Chicago: Penguin Books, 1951).

[185←]

Catherine Easterbrook and Guy Maddern, «Porcine and Bovine Surgical Products: Jewish, Muslim, and Hindu Perspectives,» JAMA 143 (2008): 366370,

https://jamanetwork.com/journals/ja
masurgery/fullarticle/599037.

[186←]

Simon Bramhall, «Presumed Consent for Organ Donation: A Case Against,» Annals of the Royal College of Surgeons of England 93 (2011): 270272,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC3363073/. Monty Python does a hilarious spoof of «live organ transplants» in its 1983 film, The Meaning of Life.

https://www.youtube.com/watch?v=5ig
9wr8517E.

[187←]

Policy changes, like shifting from an opt-out to an opt-in system for organ donation or allowing compensation to be provided to the families of donors, could help address this shortfall. «Organ Donation Statistics,» U.S. Department of Health and Human Services,

https://www.organdonor.gov/statisti
cs stories/statistics.html.

[188←]

Bethany Pellegrino, «Immunosuppression,» Medscape, last modified January 4, 2016,

https://emedicine.medscape.com/arti
cle/432316-overview#a2.

[189←]

Li Wei et al., «Inactivation of Porcine Endogenous Retrovirus in Pigs Using CRISPR-Cas9,» Science, September 22, 2017. http://science.sciencemag.org/conte
nt/357/6357/1303.

[190←]

Nicola Davis, «Breakthrough as Scientists Grow Sheep Embryos Containing Human Cells,» The Guardian, February 17, 2018,

https://www.theguardian.com/science
/2018/feb/17/breakthrough-as-scientists-grow-sheep-embryos-containing-human-cells.

[191←]

Registry of Standard Biological Parts, http://parts.igem.org/Main_Page.

[192←]

The Free Genes Project,

https://biobricks.org/freegenes/.

[193←]

Onkar Sumant, «Synthetic Biology Market by Products (DNA Synthesis, Oligonucleotide Synthesis, Synthetic DNA, Synthetic Genes, Synthetic Cells, XNA) and Technology (Genome Engineering, Microfluidics Technologies, DNA Synthesis

& Sequencing Technologies): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 20132020,» March 2014,

https://www.alliedmarketresearch.co
m/synthetic-biology-market; «The Global Synthetic Biology Market Is Projected to Grow at a CAGR of 19.9%,» PR Newswire, January 5, 2018,

https://www.prnewswire.com/news-re
leases/the-global-synthetic-biology-market-is-projected-to-grow-at-a-cagr-of-199300578132.html.

[194←]

Steven Cerier, «Synthetic Biology's 'Promise and Potential' Capture Investor Attention.» Genetic Literacy Project, May 8, 2018, accessed May 8, 2018,

https://geneticliteracyproject.org/
2018/05/08/synthetic-biologys-promise-potential-investor-attention/?
mc_cid=9b36f13d19&mc_eid=6d7f502b6d.

[195←]

Robert F. Service, «Synthetic Microbe Lives with Fewer Than 500 Genes,» Science, December 9, 2017, accessed May 8, 2018, http://www.sciencemag.org/news/2016
/03/synthetic-microbe-lives-fewer-500-genes.

[196←]

David Ewing Duncan, «Is the World Ready for Synthetic People?» Neo.Life, April 5, 2018, accessed April 22, 2018,

https://medium.com/neodotlife/q-a-with-drew-endy-bde0950fd038. See also George M. Church and Edward Regis, Regenesis: How Synthetic Biology Will Reinvent Nature and Ourselves (New York: Basic Books, 2014): 53.

[197←]

Importantly, the HGP-write scientists stressed the ethical consideration of this initiative. Jef D. Boeke et al., «The Genome Project-Write,» Science 353 no. 6295 (July 8, 2016): 126127, http://science.sciencemag.org/conte
nt/353/6295/126.

[198←]

David Ewing Duncan, «The Next Best Version of Me: How to Live Forever,» Wired, March 27, 2018,

https://www.wired.com/story/live-f
orever-synthetic-human-genome/.

[199←]

The Mason Lab, http://www.masonlab.net/.

[200←]

David Ferry, Gilgamesh: A New Rendering in English Verse (New York: Farrar, Straus, and Giroux, 1992): 5657.

[201←]

هذا تذكير لمن لا يزالون يعتقدون أنّ الإنجيل نصّ أصلي...

[202←]

Eric Grundhauser, «The True Story of Dr. Voronoff's Plan to Use Monkey Testicles to Make Us Immortal,» Atlas Obscura, October 13, 2015,

https://www.atlasobscura.com/articl
es/the-true-story-of-dr-voronoffs-plan-to-use-monkey-testicles-to-make-us-immortal.

[203←]

Renee Stepler, «World's Centenarian Population Projected to Grow Eightfold by 2050,» Pew Research Center, April 21, 2016, http://www.pewresearch.org/fact-ta
nk/2016/04/21/worlds-centenarian-population-projected-to-grow-eightfold-by-2050/.

[204←]

لطالما تساءلت لماذا لا يسأل الناس المؤمنون بنظرية «التصميم الذكي» Intelligent Design لشرح التطوّر، عن السبب الذي جعل ذلك المصمّم أن يزودنا بأعضاء هشة، لو كان/كانت فعلا ذكية.

[205←]

Carola Weidner, «Aging of Blood Can Be Tracked by DNA Methylation Changes at Just Three CpG Sites,» Genome Biology 15 (2014),

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC4053864/pdf/gb-2014-15-2-r24.pdf. Interestingly, the p53 gene has also been shown to play an important cancer-fighting role in elephants. See Carl Zimmer, «The 'Zombie Gene' That May Protect Elephants from Cancer,» New York Times, August 14, 2018,

https://www.nytimes.com/2018/08/14/
science/the-zombie-gene-that-may-protect-elephants-from-cancer.html.

[206←]

Masayuki Kimura et al., «Telomere Length and Mortality: A Study of Leukocytes in Elderly Danish Twins,» American Journal of Epidemiology 167 (2008): 799806,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC3631778/.

[207←]

F. Huber et al., «Walking Speed as an Aging Biomarker in Baboons (Papio Hamadryas).» Journal of Medical Primatology, U.S. National Library of Medicine (December 2015),

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC4802968/.

[208←]

Weiyang Chen et al., «Three-Dimensional Human Facial Morphologies as Robust Aging Markers,» Cell Research 25, no. 5 (May 2015): 574587, accessed April 28, 2018,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC4423077/.

[209←]

A group of revisionist anthropologists recently made the case that grandmothers in particular play a more important evolutionary role than previously imagined. Matthew H. Chan, Kristen Hawkes, and Peter S. Kim. «Modelling the Evolution of Traits in a Two-Sex Population, with an Application to Grandmothering,» Bulletin of Mathematical Biology 79, no. 9 (2017): 2132148,doi:10.1007/s11538-017-0323-0.

[210←]

Julie A. Mattison et al., «Caloric Restriction Improves Health and Survival of Rhesus Monkeys,» Nature Communications 8 (2017),

https://www.nature.com/articles/nco
mms14063. Although at first it looked like one of the studies showed that CR

worked in extending the life and health of the monkeys and the other did not, a later review of the data confirmed that both studies shared the same result.

[211←]

Leanne M. Redman et al., «Metabolic Slowing and Reduced Oxidative Damage with Sustained Caloric Restriction Support the Rate of Living and Oxidative Damage Theories of Aging,» Cell Metabolism 27 (2018): 111.

[212←]

These chronic diseases account for over 90 percent of all deaths in the United States. Khadija Ismail et al., «Compression of Morbidity Is Observed Across Cohorts with Exceptional Longevity,» Journal of the American Geriatrics Society 64 (2016): 15831591,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/27377170.

[213←]

«Wellderly Study Suggests Link Between Genes That Protect against Cognitive Decline and Overall Healthy Aging,» The Scripps Research Institute, April 21, 2016,

https://www.scripps.edu/news/press/
2016/20160421wellderly.html; Galina A. Erikson et al., «WholeGenome Sequencing of a Healthy Aging Cohort,» Cell 165 (2016): 10021011,
http://www.cell.com/cell/fulltext/S
00928674(16)302781.

[214←]

Freudenberg-Hua et al., «Disease Variants in Genomes of 44 Centenarians,» Molecular Genetics and Genomic Medicine 2 (2014): 438450,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/25333069.

[215←]

Clyde B. Schechter et al., «Cholesteryl Ester Transfer Protein (CETP) Genotype and Reduced CETP Levels Associated with Decreased Prevalence of Hypertension,» Mayo Clinic Proceedings 85 (2010): 522526,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/20511482.

[216←]

Nir Barzilai and Ilan Gabriely, «Genetic Studies Reveal the Role of the Endocrine and Metabolic Systems in Aging,» The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism 95 (2010): 44934500,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC3050096/.

[217←]

Galina A. Erikson et al., «Whole-Genome Sequencing of a Healthy Aging Cohort,» Cell 165 (2016): 10021011, http://www.cell.com/cell/fulltext/S
00928674(16)302781.

[218←]

Luke C. Pilling et al., «Human Longevity: 25 Genetic Loci Associated in 389,166 UK Biobank Participants,» Aging 9 (2017): 25042520, http://www.aging-us.com/article/101334/text#fulltext.

[219←]

Dan Buettner, The Blue Zones: Lessons for Living Longer from the People Who've Lived the Longest (National Geographic Books, 2009): vii.

[220←]

R. Speakman, «Body Size, Energy Metabolism and Life Span,» Journal of Experimental Biology 208 (2005): 17171730,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/15855403.

[221←]

Antonio Regalado, «Google's Long, Strange, Life Span Trip,» MIT Technology Review, December 15, 2016,

https://www.technologyreview.com/s/
603087/googles-long-strange-life-span-trip/.

[222←]

Karl A. Rodriguez et al., «Determinants of Rodent Longevity in the Chaperone-protein Degradation Network,» Cell Stress and Chaperones 21, no. 3 (2016): 45366. doi:10.1007/s12192-016-0672-x.

[223←]

Jorge Azpurua et al., «Naked Mole-Rat Has Increased Translational Fidelity Compared with the Mouse, as well as a Unique 28S Ribosomal RNA Cleavage,» Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 110 (2013): 1735017355, http://www.pnas.org/content/110/43/
17350.

[224←]

Joseph Stromberg, «Why Do Naked Mole Rats Live So Long?» Smithsonian.com, September 30, 2013,

https://www.smithsonianmag.com/scie
nce-nature/why-do-naked-mole-rats-live-so-long-230258/.

[225←]

Ungvari et al., «Extreme Longevity Is Associated with Increased Resistance to Oxidative Stress in Arctica islandica, the Longest-Living Non-Colonial Animal,» The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences 66A(2011): 741750,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC3143345/.

[226←]

Piraino et al., «Reversing the Life Cycle: Medusae Transforming into Polyps and Cell Transdifferentiation in Turritopsis nutricula (Cnidaria, Hydrozoa),» The Biological Bulletin 190 (1996): 302312,

https://www.jstor.org/stable/154302
2?seq=1#page_scan_tab_contents.

[227←]

The mutation of a single gene called Daf-2 helped the roundworms live twice as long as their compatriots without the mutation. A mutation on the Daf-16 gene had the opposite effect. It is important to note, however, that the life span extending mutations also had significant side effects including decreased fertility, smaller size, and sometimes a higher chance of dying in utero. Cynthia J. Kenyon, «The Genetics of Ageing,» Nature 464 (2010): 504512,

https://www.nature.com/articles/nat
ure08980; Masaharu Uno and Eisuke Nishida, «Life Span-Regulating Genes in C.

elegans,» Aging and Mechanisms of Disease 2 (2016); «Caenorhabditis Elegans,» AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database, http://genomics.senescence.info/spe
cies/entry.php?species=Caenorhabdit
is_Elegans; David Michaelson et al., «Insulin Signaling Promotes Germline Proliferation in C. Elegans.» Development, February 15, 2010, accessed May 12, 2018,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC2827619/.

[228←]

أظهرت الدراسات المتكررة أنّ هذه الأنواع من أنماط السلوك، تغيّر أيضًا من طول التِلوميرات

[229←]

Elizabeth H. Blackburn and Elissa Epel, The Telomere Effect: A Revolutionary Approach to Living Younger, Healthier, Longer (London: Orion Spring, 2018). See also my conversation with Nobel laureate and telomere pioneer Elizabeth Blackburn (and Harvard geneticist George Church) at the 2017 Google Zeitgeist conference, Zeitgeistminds, «Unlocking the Code of Life,» YouTube, October 24, 2017, accessed May 25, 2018,

https://www.youtube.com/watch?v=srX
79RA HPQ&feature=youtu.be.

[230←]

Wei et al., «Fasting-Mimicking Diet and Markers/Risk Factors for Aging, Diabetes, Cancer, and Cardiovascular Disease,» Science Translational Medicine 9 (2017), http://stm.sciencemag.org/content/9
/377/eaai8700.short.

[231←]

بعد إكمال سباق لجري المسافات الطويلة استغرق 19 ساعة في الغابات الممطرة في جزيرة تايوان، عدت إلى فندقي في تايبيه. علق أحدهم أنّهم لا بُدّ أن يكونوا دفعوا لي مبلغا كبيرا للمشاركة في هذا السباق. أصابته الدهشة حين أخبرته أنّني دفعت رسوم الدخول للمشاركة في ذلك السباق.

[232←]

Steven C. Moore et al., «Leisure Time Physical Activity of Moderate to Vigorous Intensity and Mortality: A Large Pooled Cohort Analysis,» PLoS Medicine 9 (2012), http://journals.plos.org/plosmedici

ne/article?id=10.1371/journal.pmed.
1001335.

[233←]

Michael S. Bonkowski and David A. Sinclair, «Slowing Ageing by Design: The Rise of NAD and Sirtuin-Activating Compounds,» Nature Reviews Molecular Cell Biology 17 (2016): 679690,

https://www.nature.com/articles/nrm
.2016.93; Abhirup Das et al., «Impairment of an Endothelial NAD-H 2 S Signaling Network Is a Reversible Cause of Vascular Aging,» Cell 173 (2018): 7489.

[234←]

M. Evans et al., «Metformin and Reduced Risk of Cancer in Diabetic Patients,» BMJ 330 (2005): 13041305,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/15849206.

[235←]

A. Bannister et al., «Can People with Type 2 Diabetes Live Longer Than Those Without? A Comparison of Mortality in People Initiated with Metformin or Sulphonylurea Monotherapy and Matched, Non-Diabetic Controls,» Diabetes, Obesity and Metabolism 16 (2014): 11651173, http://onlinelibrary.wiley.com/doi/
10.1111/dom.12354/full.

[236←]

P. Ng et al., «Long-Term Metformin Usage and Cognitive Function among Older Adults with Diabetes,» Journal of Alzheimer's Disease 41 (2014): 6168,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/24577463; V. N. Anisimov, «Metformin for Cancer and Aging Prevention: Is It a Time to Make the Long Story Short?» Oncotarget. November 24, 2015, accessed April 28, 2018,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/26583576. Other studies have shown a lesser positive impact of metformin.

[237←]

Alejandro Martin-Montalvo, «Metformin Improves Healthspan and Life Span in Mice,» Nature Communications 4 (2013),

https://www.nature.com/articles/nco
mms3192.

[238←]

Jing Li, Sang Gyun Kim, and John Blenis, «Rapamycin: One Drug, Many Effects,» Cell Metabolism 19 (2014): 373379,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC3972801/.

[239←]

Simon C. Johnson, Peter S. Rabinovitch, and Matt Kaeberlein, «MTOR Is a Key Modulator of Ageing and Age-Related Disease,» Nature 493 (2013): 338345,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC3687363/.

[240←]

Dog Aging Project, accessed June 18, 2018, http://dogagingproject.com/. Silvan R. Urfer et al., «A Randomized Controlled Trial to Establish Effects of Short-Term Rapamycin Treatment in 24 Middle-Aged Companion Dogs,» GeroScience39, no. 2 (2017): 11727. doi:10.1007/s11357-017-9972-z; Matt Kaeberlein, Kate E. Creevy, and Daniel E. L. Promislow, «The Dog Aging Project: Translational Geroscience in Companion Animals,» Mammalian Genome 27, no. 78 (2016): 27988, doi:10.1007/s00335-016-9638-7.

[241←]

Simon C. Johnson, Peter S. Rabinovitch, and Matt Kaeberlein, «MTOR Is a Key Modulator of Ageing and Age-Related Disease,» Nature 493 (2013): 338345,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC3687363/.

[242←]

Simon C. Johnson and Matt Kaeberlein, «Rapamycin in Aging and Disease: Maximizing Efficacy While Minimizing Side Effects,» Oncotarget 7 (2016): 4487644878,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC5216691/; V. N. Anisimov, «Metformin for Cancer and Aging

Prevention: Is It a Time to Make the Long Story Short?» Oncotarget November 24, 2015, accessed April 28, 2018,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/26583576.

[243←]

A series of recent mouse studies point in the direction of how this type of cocktail might work. In one, metformin increased the life span of mice by 7 percent overall, but mice fed both metformin and rapamycin together were the longest-lived mice studied. Female mice fed a daily dose of rapamycin alone lived 18 to 21 percent longer than nondrugged mice, but female mice fed rapamycin and metformin together lived 23 percent longer. Males lived 10 to 13 percent longer with rapamycin alone but 23 percent longer with both. L. J. Wei, D. Y. Lin, and L. Weissfeld, «Regression Analysis of Multivariate Incomplete Failure Time Data by Modeling Marginal Distributions,» Journal of the American Statistical Association 84 (1989): 1065, http://dlin.web.unc.edu/files/2013/
04/WeiLinWeissfeld89.pdf.

[244←]

Abel Soto-Gamez and Marco Demaria, «Therapeutic Interventions for Aging: The Case of Cellular Senescence,» Drug Discovery Today 22 (2017): 786795,
http://www.sciencedirect.com/scienc
e/article/pii/S135964461730017X.

[245←]

Eva Latorre et al., «Mitochondria-Targeted Hydrogen Sulfide Attenuates Endothelial Senescence by Selective Induction of Splicing Factors HNRNPD and SRSF2,» Aging, August 19, 2018. doi:10.18632/aging.101500.

[246←]

P. Baar et al., «Target Apoptosis of Senescent Cells Restores Tissue Homeostasis in Response to Chemotoxicity and Aging,» Cell 169 (2017): 132147,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/28340339.

[247←]

Alejandro Ocampo, «In Vivo Amelioration of Age-Associated Hallmarks by Partial Reprogramming,» Cell 167 (2016): 17191733, http://www.cell.com/cell/fulltext/S

00928674(16)316646.

[248←]

«Turning Back Time: Salk Scientists Reverse Signs of Aging,» The Salk Institute, December 15, 2016,

https://www.salk.edu/news-release/turning-back-time-salk-scientists-reverse-signs-aging/.

[249←]

M. Conboy, «Rejuvenation of Aged Progenitor Cells by Exposure to a Young Systemic Environment,» Nature 433 (2005): 760764,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/15716955.

[250←]

Jocelyn Kaiser, «Young Blood Renews Old Mice,» Science, May 4, 2014, http://www.sciencemag.org/news/2014
/05/young-blood-renews-old-mice.

[251←]

يمكن الآن خزن خلايا الدم الحمراء لمدة 10 سنوات فقط، لكنّ الأسهل هو خزن الخلايا المجمدة مثل خلايا الجلد إلى الأبد. يمكن إذابتها في المستقبل وتحفيزها لتصبح خلايا دم يمكن حقنه في جسم الشخص ذاته. تحدثت عن هذا الموضوع في روايتي «الموسيقى الأبدية».

[252←]

«Longevity Industry Landscape Overview 2017,» Geroscience, Policy, and Economics, p. 7,

https://daks2k3a4ib2z.cloudfront.ne
t/581ba14cc9b0d76c5dcededf/5a0e1db8
5db6530001540224_Infographic%20Sum
mary%20Longevity%20Industry%20Report.pdf.

[253←]

P. Goldman et al., «Substantial Health And Economic Returns from Delayed Aging May Warrant A New Focus for Medical Research,» Health Affairs 32 (2013): 16981705, http://sjayolshansky.com/sjo/Longev
ity_Dividend_Initative_files/Health
%20Affairs%202013%20LDI%20Final.pdf.

[254←]

لغرض معالجة القضية التي تأخر وقتها لإنفاق ميزانية الغد على حلّ مشاكل اليوم، وإضافة إلى دوافع أخرى للتقدم، فإنّ البلدان الكبيرة مثل الولايات المتحدة باستطاعتها أن تصدر سندات مالية bonds من أجل ديمومة الصحة.

[255←]

Andrew Hammond et al., «A CRISPR-Cas9 Gene Drive System Targeting Female Reproduction in the Malaria Mosquito Vector Anopheles gambiae,» Nature Biotechnology 34 (2016): 7883,

https://www.nature.com/articles/nbt
.3439. For a good description of gene drives, see «FAQs: Gene Drives,» Wyss Institute, Harvard University, accessed May 12, 2018,

https://wyss.harvard.edu/staticfile
s/newsroom/pressreleases/Gene drives FAQ FINAL.pdf.

[256←]

Peter, Paul and Mary, vocalists, «I Know an Old Lady,» by Rose Bonne and Alan Mills, 1952, released 1993, track 7 on Peter, Paul & Mommy, Too,
http://www.peterpaulandmary.com/mus
ic/1707.htm.

[257←]

Human Dignity and Bioethics: Essays Commissioned by the President's Council on Bioethics (Washington, DC: March 2008): 329,

https://bioethicsarchive.georgetown
.edu/pcbe/reports/human_dignity/.

[258←]

Michael J. Sandel, «The Case Against Perfection,» The Atlantic, April 2014,

https://www.theatlantic.com/magazin
e/archive/2004/04/the-case-against-perfection/302927/.

[259←]

, 1856, More Letters of Charles[th]Excerpt from letter 49. TO J.D. HOOKER. July 13 Darwin, Volume I,

https://charles-darwin.classic-literature.co.uk/more-letters-of-charles-darwin-volume-i/ebook-page-57.asp.

[260←]

Marcy Darnovsky, «A Slippery Slope to Human Germline Modification,» Nature 499, no. 7457 (July 9, 2013): 127, http://www.nature.com/news/a-slipp ery-slope-to-human-germline-modification-1.13358.

[261←]

Siddhartha Mukherjee, The Gene: An Intimate History. New York: Simon and Schuster, 2016, pp. 275276.

[262←]

Julian Savulescu and Guy Kahane, «The Moral Obligation to Create Children with the Best Chance of the Best Life,» Bioethics 23, no. 5 (2009): 274290,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed /19076124.

[263←]

Nick Bostrom and Toby Ord, «How to Avoid Status Quo Bias in Bioethics: The Case for Human Enhancement,» 2004,

https://nickbostrom.com/ethics/stat usquo.doc.

[264←]

Carl Zimmer, She Has Her Mother's Laugh: The Powers, Perversions, and Potential of Heredity (New York: Dutton, 2018).

[265←]

«The Laws of the Twelve Tables,» c. 450 B.C.E.,

https://facultystaff.richmond.edu/~ wstevens/FYStexts/twelvetables.pdf.

[266←]

Francis Galton, Inquiries into the Human Faculty and Its Development (Macmillan, 1883): 24.

[267←]

The Eugenics Review 1, no. 1 (April 1909).

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC2990364/?page=1. The journal ceased publication only in 1968.

[268←]

Henry Fairfield Osborn, Collected Papers (1877): Volume 4, p. 2.

https://books.google.com/books?id=hHMuAA
AAIAAJ&pg=PT32&lpg=PT32&dq=
%22Negro+fails+in+government, +he+
may+become+a+fine+agriculturist%22&source=
bl&ots=OK7jUtTCeT&sig=cavOSWARMqiT550H
wpTpopV9XXU&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwi
Mmc2PgOHcAhWO2FMKHWvFAVEQ6AEwA
HoECAcQAQ#v=onepage&q=%22Negro%20
fails%20in%20government%2C%20he%20
may%20become%20a%20fine%20
agriculturist%22&f=false.

[269←]

Steven A. Farber, «U.S. Scientists' Role in the Eugenics Movement (19071939): A Contemporary Biologist's Perspective,» Zebrafish 5, no. 4 (December 2008): 243245,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC2757926/.

[270←]

For a list of materials on the particularly egregious case of Puerto Rico, see «Sterilization of Puerto Rican Women: A Selected, Partially Annotated Bibliography (Louis de Malave, 1999)» Special Collections, March 23, 2018, accessed June 26, 2018,

https://www.library.wisc.edu/gwslib
rarian/publications/bibliographies/
sterilization/.

[271←]

Paul A. Lombardo, «Three Generations, No Imbeciles: New Light on Buck v. Bell,» NYU Law Review 80 (1985): 3062,

https://pdfs.semanticscholar.org/78
4b/f1b7cfbbc84b6966f4c3b0f3d554726d
551e.pdf.

[272←]

Adolph Hitler, Mein Kampf (1925): 222223, trans. Ralph Manheim (Boston: Houghton Mifflin Company, 1999). http://www.sjsu.edu/people/mary.pic
kering/courses/His146/s1/MeinKampfp
artone0001.pdf.

[273←]

Charles J. Epstein, «Is Modern Genetics the New Eugenics?» Genetics in Medicine 5 (2003): 469475,

https://www.nature.com/articles/gim
2003376.

[274←]

Michael J. Sandel, «The Case against Perfection,» The Atlantic, April 2004,

https://www.theatlantic.com/magazin
e/archive/2004/04/the-case-against-perfection/302927/.

[275←]

Arthur Kaplan, «What Should the Rules Be?» Time, January 14, 2001, http://content.time.com/time/magazi
ne/article/0,9171,95244,00.html.

[276←]

Richard Dawkins, The Genetic Revolution and Human Rights, ed. Justine Burley (Oxford: Oxford University Press, 1999): vxviii; cited in Charles J. Epstein, «Is Modern Genetics the New Eugenics?» Nature, November 1, 2003, accessed May 10, 2018,

https://www.nature.com/articles/gim
2003376.

[277←]

Diane B. Paul, The Politics of Heredity: Essays on Eugenics, Biomedicine, and the Nature-Nurture Debate (New York: State University of NY Press, 1998) p. 97; cited

in Charles J. Epstein, «Is Modern Genetics the New Eugenics?» Nature, November 1, 2003, accessed May 10, 2018,

https://www.nature.com/articles/gim
2003376.

[278←]

Jon Entine, «Let's (Cautiously) Celebrate the 'New Eugenics,'» Huffington Post, October 30, 2014,

https://www.huffingtonpost.com/jon-
entine/lets-cautiously-celebrate_b_6070462.html.

[279←]

Nicholas Agar, Liberal Eugenics: In Defense of Human Enhancement (Oxford: Blackwell, 2004): vi, 5. Nicholas Agar, «Liberal Eugenics,» Public Affairs Quarterly 12 (1998): 137155.

[280←]

Adam Cohen, «Is There Such a Thing as Good Eugenics?» Los Angeles Times, March 17, 2017, http://www.latimes.com/opinion/op-
ed/la-oe-cohen-good-eugenics-20170317-story.html.

[281←]

Stephen Whyte, Benno Torgler, and Keith L. Harrison, «What Women Want in Their Sperm Donor: A Study of More Than 1000 Women's Sperm Donor Selections,» Economics & Human Biology 23 (2016): 19,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/27359087.

[282←]

Shana Lebowitz, «Science Says Being Tall Could Make You Richer and More SuccessfulHere's Why,» Business Insider, September 9, 2015,
http://www.businessinsider.com/tall
-people-are-richer-and-successful-20159; Roger Highfield, «Symmetrical Human Faces Are More Beautiful,» The Telegraph, June 5, 2008,
http://www.telegraph.co.uk/news/sci
ence/sciencenews/3343640/Symmetrical-human-faces-are-more-beautiful.html.

[283←]

R. Sanders et al., «Genome-wide Scan Demonstrates Significant Linkage for Male Sexual Orientation,» Psychological Medicine 45 (2014): 13791388; Siddhartha Mukherjee, The Gene: An Intimate History (London: Vintage, 2017): 373379.

[284←]

Nicholas G. Crawford et al., «Loci Associated with Skin Pigmentation Identified in African Populations,» Science Magazine 17 (2017),

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/29025994.

[285←]

Kenta Watanabe et al., «CRISPR/Cas9-Mediated Mutagenesis of the Dihydroflavonol-4-reductase-B (DFR-B) Locus in the Japanese Morning Glory Ipomoea (Pharbitis) Nil,» Scientific Reports 7 (August 30, 2017), http://bio-engineering.ir/wp content/uploads/2017/10/s41598-017-10715-1.pdf.

[286←]

«Study Finds Autistics Better at Problem-Solving,» EurekAlert!, June 16, 2009,

https://www.eurekalert.org/pub_rele
ases/200906/uom-sfa061609.php.

[287←]

Neel Burton, «Bipolar Disorder and Creativity,» Psychology Today, March 9, 2012,

https://www.psychologytoday.com/blo
g/hide-and-seek/201203/bipolar-disorder-and-creativity.

[288←]

Elizabeth Theusch, Analabha Basu, and Jane Gitschier, «Genome-wide Study of Families with Absolute Pitch Reveals Linkage to 8q24.21 and Locus Heterogeneity,» The American Journal of Human Genetics 85 (2009): 112119.

[289←]

«Central African Republic,» World Food Programme, accessed June 2, 2018, http://www1.wfp.org/countries/centr
al-african-republic; Caroline H. D. Fall, «Fetal Malnutrition and Long-Term Outcomes,» in Maternal and Child Nutrition: The First 1,000 Days, Nestlé Nutrition Institute Workshop Series, 74 (2013): 1125, doi:10.1159/000348384.

[290←]

Friedrich Wilhelm Nietzsche, Thus Spoke Zarathustra (Chicago: H. Regnery, 1957): 3.

[291←]

Paul Weindling, «Julian Huxley and the Continuity of Eugenics in Twentieth-century Britain,» Journal of Modern European History, November 1, 2012, accessed May 10, 2018,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4366572/.

[292←]

Tobiasz Mazan, Transcend the Flesh: Transhumanism Debate (2015): 8,

https://www.researchgate.net/publication/279189548_Transcend_the_Flesh_Transhumanism_debate.

[293←]

Santi Tafarella, «What Did Friedrich Nietzsche Take from Charles Darwin?» Prometheus Unbound, 2010,

https://santitafarella.wordpress.com/2009/12/26/what-did-friedrich-nietzsche-take-from-charles-darwin/amp/.

[294←]

Santi Tafarella, «What Did Friedrich Nietzsche Take from Charles Darwin?» Prometheus Unbound, 2010,

https://santitafarella.wordpress.com/2009/12/26/what-did-friedrich-nietzsche-take-from-charles-darwin/amp/.

[295←]

Shepard Krech III, The Ecological Indian: Myth and History (New York: W. W. Norton & Company, 2000). Whether humans are responsible for this extinction, to be fair, is hotly debated among archeologists. For the affirmative case, see Gary Haynes, «The Catastrophic Extinction of North American Mammoths and Mastodonts,» World Archaeology 33, no. 3 (2002): 391416, doi:10.1080/0043824012010744 0. For the opposing view, see Donald Grayson, «Clovis Hunting and Large Mammal Extinction: A Critical Review of the Evidence,» Clovis Hunting and Large Mammal

Extinction: A Critical Review of the Evidence 16, no. 4 (December 2012), doi:10.1023/A:1022912030020.

[296←]

1:26 (King James Version),

https://www.biblegateway.com/passage/?search=Genesis +1%3A26&version=KJV.

[297←]

انزلقت كافة هذه النشاطات البيئية التقدّمية نحو الهاوية، تحت إدارة دونلد ترامپ. انسحبت الحكومة من كافة التزاماتها السابقة لمعالجة تغيّرات المناخ، وقلّصت المساحات الجغرافية المخصّصة للمحميات الطبيعية وفتحتها للتنقيب، وألغت أو عطلت العمل في كافة القوانين المخصصة لحماية البيئة الطبيعية.

[298←]

Chapter 3, The Works of Mencius, http://nothingistic.org/library/mencius/mencius01.html.

[299←]

Frank Dikötter, Mao's Great Famine: The History of China's Most Devastating Catastrophe, 19581962 (New York: Walker & Company, 2010).

[300←]

Elizabeth C. Economy, The River Runs Black: The Environmental Challenge to China's Future (Cornell University Press, 2010).

[301←]

الكائنات المعدّلة جينيّا (وراثيا) هي التي جرى تعديل على جيناتها بطرق لا تحدث طبيعيا خلال عمليات المزاوجة. الكائنات المعدلة وراثيا هي التي حدث تعديل في جيناتها بإضافة جينات مأخوذة من كائن آخر.

[302←]

Diamond v. Chakrabarty, 447 U.S. 303 (1980),

https://supreme.justia.com/cases/federal/us/447/303/case.html.

[303←]

Paul Berg et al., «Potential Biohazards of Recombinant DNA Molecules,» Science 26 (1974): 303,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC388511/?page=1.

[304←]

Paul Berg et al., «Summary Statement of the Asilomar Conference on Recombinant DNA Molecules,» Proceedings of the National Academy of Sciences, 72 (1975): 19811984,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC432675/pdf/pnas000490007
.pdf.

[305←]

Rick Blizzard, «Genetically Altered Foods: Hazard or Harmless?» Gallup News, August 12, 2003, http://news.gallup.com/poll/9034/ge
netically-altered-foods-hazard-harmless.aspx.

[306←]

Cary Funk and Brian Kennedy, «Public Opinion about Genetically Modified Foods and Trust in Scientists Connected with These Foods,» Pew Research Center, December 1, 2016, http://www.pewinternet. org/2016/12/01/public-opinion-about-genetically-modified-foods-and-trust-in-scientists-connected-with-these-foods/.

[307←]

«Genetically Modified Seeds Market—9.83% CAGR to 2020,» PR Newswire, September 7, 2016,

https://www.prnewswire.com/news-re
leases/genetically-modified-seeds-market—-983-cagr-to-2020592549281.html.

[308←]

For a fantastic overview of the regulations of GM crops in China, see: Alice Yuen-TingWong and Albert Wai-Kit Chan, «Genetically Modified Foods in China and the United States: A Primer of Regulation and Intellectual Property Protection,» Food Science and Human Wellness 5 no. 3 (2016): 124140,

https://www.sciencedirect.com/scien
ce/article/pii/S2213453016300076.

[309←]

Chuin Wei-Yap, «Xi's Remarks on GMO Signal Caution,» Wall Street Journal, October 9, 2014,

https://blogs.wsj.com/chinarealtime
/2014/10/09/xis-remarks-on-gmo-signal-caution/.

[310←]

Rod A. Herman and William D. Price, «Unintended Compositional Changes in Genetically Modified (GM) Crops: 20 Years of Research,» Journal of Agricultural and Food Chemistry 61 (2013): 1169511701, http://pubs.acs.org/doi/full/10.102
1/jf400135r.

[311←]

Fei Han et al., «Attitudes in China about Crops and Foods Developed by Biotechnology,» Plos One 10 (2015), http://journals.plos.org/plosone/ar
ticle?id=10.1371/journal.pone.01391
14.

[312←]

«Statement by the AAS Board of Directors on Labeling of Genetically Modified Foods,» American Association for the Advancement of Science, June 12, 2013,

https://www.aaas.org/news/statement
-aaas-board-directors-labeling-genetically-modified-foods.

[313←]

Rod A. Herman and William D. Price, «Unintended Compositional Changes in Genetically Modified (GM) Crops: 20 Years of Research,» Journal of Agricultural and Food Chemistry 61 (2013): 1169511701, http://pubs.acs.org/doi/full/10.102
1/jf400135r.

[314←]

A Decade of EU-Funded GMO Research (20012010), European Commission on Food, Agriculture and Fisheries and Biotechnology, 2010,

https://ec.europa.eu/research/bioso
ciety/pdf/a_decade_of_eu-funded_gm
o_research.pdf.

[315←]

Safety Assessment of Foods Derived from Genetically Modified Microorganisms: Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation on Foods Derived from

Biotechnology, WHO Headquarters, Geneva, Switzerland, September 2428, 2001, http://www.fao.org/3/a-ae585e.pdf.

[316←]

Report 2 of the Council on Science and Public Health (A-12) Labeling of Bioengineered Foods (Resolutions 508 and 509-A-11), 2012, http://ag.utah.gov/documents/AMA-Bioengineered Foods.pdf.

[317←]

Read Safety of Genetically Engineered Foods: Approaches to Assessing Unintended Health Effects at NAP.edu. National Academies Press: OpenBook, accessed April 30, 2018,

https://www.nap.edu/read/10977/chapter/1.

[318←]

Genetically Modified Plants for Food Use and Human Health—An Update, Policy Document 4/02, February 2002,

https://royalsociety.org/~/media/royal_society_content/policy/publications/2002/9960.pdf.

[319←]

Genetically Engineered Crops: Experiences and Prospects, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (Washington, DC: The National Academies Press, 2016): 15,

https://doi.org/10.17226/23395.

[320←]

Elisa Pellegrino et al., «Impact of Genetically Engineered Maize on Agronomic, Environmental and Toxicological Traits: A Meta-analysis of 21 Years of Field Data,» Scientific Reports 8 (2018),

https://www.nature.com/articles/s41598-018-21284-2.

[321←]

Rebecca Goldburg et al., Biotechnology's Bitter Harvest, Biotechnology Working Group, March 1990, http://blog.ucsusa.org/wp-content/uploads/2012/05/Biotechnologys-Bitter-Harvest.pdf.

[322←]

For a fair assessment of Monsanto's work, see Drake Bennett, «GMO Factory Monsanto's High-Tech Plans to Feed the World,» Bloomberg.com, July 4, 2014, accessed May 10, 2018,

https://www.bloomberg.com/news/articles/2014-07-03/gmo-factory-monsantos-high-tech-plans-to-feed-the-world.

[323←]

Callaway, Ewen. «CRISPR Plants Now Subject to Tough GM Laws in European Union,» Nature News. July 25, 2018, accessed August 4, 2018,

https://www.nature.com/articles/d41586-018-05814-6.

[324←]

Karl Haro von Mogel, «GMO Crops Vandalized in Oregon,» Biology Fortified, June 24, 2013,

https://www.biofortified.org/2013/06/gmo-crops-vandalized-in-oregon/.

[325←]

Tom Nightingale, «Scientists Speak Out against Vandalism of Genetically Modified Rice,» ABC News, September 19, 2013, http://www.abc.net.au/news/2013-09-20/scientists-speak-out-against-vandalism-of-gm-rice/4970626. The fraudulent Indian activist Vandana Shiva also piled onto the anti-GMO bandwagon, claiming that the Green Revolution, which saved up to a billion lives, actually caused hunger and that Golden Rice is a hoax.

[326←]

Mark Lynas, «With G.M.O. Policies, Europe Turns against Science,» New York Times, October 24, 2015,

https://www.nytimes.com/2015/10/25/opinion/sunday/with-gmo-policies-europe-turns-against science.html?mtrref=www.google.com&assetType=opinion.

[327←]

«EASAC Warns EU Policy on GM Crops Threatens the Future of Our Agriculture,» The Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, July 10, 2013,

https://www.knaw.nl/en/news/news/ea
sac-warns-eu-policy-on-gm-crops-threatens-the-future-of-our-agriculture.

[328←]

For a damning assessment of the effectiveness of Germany's Green party in undermining biotechnology innovation in Germany, see Günther, Susanne, «How Anti-GMO Advocates Hijacked German Science, Blocking Agricultural Innovation and Threatening the CRISPR Revolution: A Farmer's Perspective,» Genetic Literacy Project, July 17, 2018, accessed August 5, 2018,

https://geneticliteracyproject.org/
2018/07/12/how-anti-gmo-advocates-hijacked-german-science-blocking-
agricultural-innovation-threatening-crispr-revolution-farmers-perspective/.

[329←]

Paul Gander, «EU Enzyme Scrutiny Could Open Up GM 'Can of Worms,'» Food Manufacture, August 8, 2012,

https://www.foodmanufacture.co.uk/A
rticle/2012/08/09/Are-enzymes-processing-aids-or-should-they-be-labelled-as-
ingredients.

[330←]

Steven Cerier, «Anti-GMO Forces New Breeding Techniques (NBTs) Despite Similarities to Conventional Crops,» Genetic Literacy Project, February 26, 2018,

https://geneticliteracyproject.org/
2018/02/26/anti-gmo-forces-target-new-breeding-techniques-nbts-despite-
similarities-conventional-crops/.

[331←]

Callaway, Ewen. «CRISPR Plants Now Subject to Tough GM Laws in European Union,» Nature News. July 25, 2018, accessed August 4, 2018,

https://www.nature.com/articles/d41
586-018-05814-6.

[332←]

«Organisms Obtained by Mutagenesis Are GMOs and Are, in Principle, Subject to the Obligations Laid down by the GMO Directive.» Court of Justice of the European Union, PRESS RELEASE No 111/18, Luxembourg, 25 July 2018, Judgment in Case C-528/16, Confédération paysanne and Othersv Premier ministre and Ministre de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt,

https://curia.europa.eu/jcms/upload
/docs/application/pdf/201807/cp180
111en.pdf.

[333←]

Marian Tupy, «Europe's Anti-GMO Stance Is Killing Africans,» Reason, September 5, 2017, http://reason.com/archives/2017/09/
05/europes-anti-gmo-stance-is-killing-afric.

[334←]

«Laureates Letter Supporting Precision Agriculture (GMOs),» Support Precision Agriculture, June 29, 2016, http://supportprecisionagriculture.
org/nobel-laureate-gmo-letter_rjr.html. For more on the dangerous disinformation campaign mounted by anti-GMO organizations against Golden Rice, see Andrew Porterfield, «Anti-GMO Groups Draw FDA Rebuke over Misrepresentation of Golden Rice Nutrition,» Genetic Literacy Project, June 15, 2018, accessed June 18, 2018,

https://geneticliteracyproject.org/
2018/06/11/anti-gmo-groups-draw-fda-rebuke-over-misrepresentation-of-golden-
rice nutrition/?mc_cid=6c723bddda&mc_eid=6d7f502b6d.

[335←]

Researchers at Iowa State University have suggested that news entities backed by the Russian state are pushing anti-GMO news stories in the West. «How Russia Tried to Turn America against GMOs and Agricultural Biotechnology and Sow Ideological Discord,» Genetic Literacy Project, March 9, 2018, accessed August 4, 2018,

https://geneticliteracyproject.org/
2018/03/06/russia-tried-turn-america-gmos-agricultural-biotechnology-sow-
ideological-discord/.

[336←]

National Academies of Sciences. «Science Breakthroughs to Advance Food and Agricultural Research by 2030,» National Academies Press: OpenBook, July 18,

2018, accessed August 5, 2018,

https://www.nap.edu/catalog/25059/s
cience-breakthroughs-to-advance-food-and-agricultural-research-by-2030.

https://doi.org/10.17226/25059; pp. 45.

[337←]

Mireille Jacobson and Heather Royer, «Aftershocks: The Impact of Clinic Violence on Abortion Services,» National Bureau of Economic Research, 2010,
http://users.nber.org/~jacobson/Jac
obsonRoyer6.2.10.pdf.

[338←]

«Violence Statistics & History,» National Abortion Federation,

https://prochoice.org/education-an
d-advocacy/violence/violence-statistics-and-history/.

[339←]

«Public Funding for Abortion,» American Civil Liberties Union, accessed May 1, 2018,

https://www.aclu.org/other/public-
funding-abortion.

[340←]

Adam Taylor, «The Human Suffering Caused by China's One-Child Policy,» Washington Post, October 29, 2015,

https://www.washingtonpost.com/news
/worldviews/wp/2015/10/29/the-huma
n-suffering-caused-by-chinas-onemchildpolicy/?utm_term=.d7fa61c5c3cb.

[341←]

Justin Parkinson, «Five Numbers That Sum Up China's One-Child Policy,» BBC News, October 29, 2015, http://www.bbc.com/news/magazine-3
4666440. The number is probably lower than 400 million because the country's birth rate would almost certainly have decreased in conjunction with economic development and increasing education levels.

[342←]

«Views about Abortion,» Pew Research Center, 2014, http://www.pewforum.org/religious-landscape-study/views-about-abortion/.

[343←]

Lester Feder, Jeremy Singer-Vine, and Jina Moore, «This Is How 23 Countries around the World Feel about Abortion,» Buzzfeed News, June 4, 2015,

https://www.buzzfeed.com/lesterfeder/this-is-how-23-countries-around-the-world-feelaboutabortio?utm_term=.veJX3nrV4#.swW7R0kQ8. A 2014 Pew poll found that people in the largely Catholic Philippines oppose abortion the most, while residents in mostly secular France oppose it the least. «Global Views on Mortality,» Pew Research Center, http://www.pewglobal.org/2014/04/15/global-morality/table/abortion/.

[344←]

Researchers at Iowa State University have suggested that news entities backed by the Russian state are pushing anti-GMO news stories in the West. «How Russia Tried to Turn America against GMOs and Agricultural Biotechnology and Sow Ideological Discord,» Genetic Literacy Project, March 9, 2018, accessed August 4, 2018,

https://geneticliteracyproject.org/2018/03/06/russia-tried-turn-america-gmos-agricultural-biotechnology-sow-ideological-discord/.

[345←]

Gina Pollack, «Undue Burden: Trying to Get an Abortion in Louisiana,» New York Times, May 16, 2017,

https://www.nytimes.com/2017/05/16/opinion/abortion-restrictions-louisiana.html?_r=0.

[346←]

Joshua Seitz, «Striking a Balance: Policy Considerations for Human Germline Modification.» Santa Clara Journal of International Law 16, no. 1 (March 2, 2018):60100, accessed June 18, 2018,

https://digitalcommons.law.scu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1225&context=scujil. For an interesting take on how the gene-editing debate is making

strange bedfellows of abortion rights opponents, see Sarah Karlin et al., «Gene Editing: The Next Frontier in America's Abortion Wars,» February 16, 2016, accessed May 29, 2018,

https://www.politico.com/story/2016/02/gene-editing-abortion-wars-219230.

[347←]

See «Alliance VITA 'Stop GM Babies' Awareness-Raising Campaign Confirmed by the Results of an Opinion Poll on CRISPR-Cas9,» Alliance Vita, May 27, 2016, accessed June 24, 2018,

https://www.alliancevita.org/en/2016/05/alliance-vita-stop-gm-babies-awareness-raising-campaign-confirmed-by-the-results-of-an-opinion-poll-on-crispr-cas9/.

[348←]

Heather Mason Kiefer, «Gallup Brain: The Birth of In Vitro Fertilization,» Gallup, August 5, 2003, http://news.gallup.com/poll/8983/gallup-brain-birth-vitro-fertilization.aspx; «Abortion Viewed in Moral Terms: Fewer See Stem Cell Research and IVF as Moral Issues,» Pew Research Center, August 5, 2013, http://www.pewforum.org/2013/08/15/abortion-viewed-in-moral-terms/.

[349←]

«Awareness and Knowledge about Reproductive Genetic Technology,» Genetics and Public Policy Center, 2002,

https://jscholarship.library.jhu.edu/bitstream/handle/1774.2/979/PublicAwarenessAndAttitudes.pdf?sequence=.

[350←]

«The Public and Genetic Editing, Testing, and Therapy,» Harvard T. H. Chan School of Public Health, January 2016,

https://cdn1.sph.harvard.edu/wpcontent/uploads/sites/94/2016/01/STAT-Harvard-Poll-Jan-2016-Genetic-Technology.pdf.

[351←]

Funk, Cary, and Meg Hefferon. «Public Views of Gene Editing for Babies Depend on How It Would Be Used,» Pew Research Center: Internet, Science & Tech, July 26, 2018, accessed August 27, 2018, http://www.pewinternet.org/2018/07/26/public-views-of-gene-editing-for-babies-depend-on-how-it-would-be-used/.

[352←]

«The Public and Genetic Editing, Testing, and Therapy.»

[353←]

«Awareness and Knowledge about Reproductive Genetic Technology,» Genetics and Public Policy Center, 2002,

https://jscholarship.library.jhu.edu/bitstream/handle/1774.2/979/PublicAwarenessAndAttitudes.pdf?sequence=.

[354←]

«Industry News: UK Public Cautiously Optimistic about Genetic Technologies,» Select Science, March 8, 2018, http://www.selectscience.net/industry-news/uk-public-cautiously-optimistic-about-genetic-technologies/?artID=45918. Even though the UK population had come a long way toward accepting human genetic engineering, ironically only 51 percent of those polled supported the use of genetic technologies to increase the efficiency of food production. In other words, a full 25 percent more Britons support genetically modifying their children than do genetically altering a kumquat.

[355←]

Fung-Kei Cheng, «Taijiao: A Traditional Chinese Approach to Enhancing Fetal Growth through Maternal Physical and Mental Health,» Chinese Nursing Research 3 (2016): 4953, http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095771816300470; Baoqui Su and Darryl R. J. Macer, «Chinese People's Attitudes towards Genetic Diseases and People with Handicaps,» Law and Human Genome Review 18 (2003): 191210, http://www.eubios.info/Papers/youseg.htm.

[356←]

David Cyranoski, «China's Embrace of Embryo Selection Raises Thorny Questions,» Nature 548 (2017): 272274,

https://www.nature.com/news/china-
s-embrace-of-embryoselection-raises-thorny-questions-1.22468.

[357←]

Jiang-Hui Wang et al., «Public Attitudes toward Gene Therapy in China,» Molecular Therapy Methods & Clinical Development 6 (2017).

[358←]

Tristan McCaughey et al., «A Global Social Media Survey of Attitudes to Human Genome Editing,» Cell Stem Cell 18 (2016): 569572.

[359←]

«Is Pre-implantation Genetic Diagnosis (PGT) Acceptable for Catholics?» Institute of Catholic Bioethics, January 6, 2014,

https://sites.sju.edu/icb/is-pre-implantation-genetic-diagnosis-PGT-acceptable-for-catholics/.

[360←]

Ioannes Paulus PP. II, «Evangelium Vitae,» 1995, http://w2.vatican.va/content/john-paul ii/en/encyclicals/documents/hf_jp-ii_enc_25031995_evangelium-vitae.html.

[361←]

Edward Pentin, «The Brave New World of Three-Parent Babies,» National Catholic Register, October 2, 2013, http://www.ncregister.com/daily-ne
ws/the-brave-new-world-of-three-parent-babies.

[362←]

«Fearfully and Wonderfully Made: A Policy on Human Biotechnologies,» National Council of Churches, adopted November 8, 2006,
http://nationalcouncilofchurches.us
/commonwitness/2006/biotech.php.

[363←]

Christopher Benek, «Religion+ for Humanity+,» H+ Magazine, March 25, 2014,
http://hplusmagazine.com/2014/03/25
/religion-for-humanity/.

[364←]

Rabbi Moshe D. Tendler and John D. Loike, «Mitochondrial Replacement Therapy: Halachic Considerations for Enrolling in an Experimental Clinical Trial,» Rambam Maimonides Medical Journal 6 (2015),

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC4524404/.

[365←]

Jaron Lanier, «The First Church of Robotics,» New York Times, August 9, 2010, http://www.nytimes.com/2010/08/09/o
pinion/09lanier.html?_r=1; Jaron Lanier, «Singularity Is a Religion Just for Digital Geeks,» BigThink, March 11, 2011, http://bigthink.com/devils-advocat
e/singularity-is-a-religion-just-for-digital-geeks.

[366←]

Susannah Baruch, David Kaufman, and Kathy L. Hudson, «Genetic Testing of Embryos: Practices and Perspectives of U.S. In Vitro Fertilization Clinics,» Fertility and Sterility 89 (2008): 10531058,

https://www.sciencedirect.com/scien
ce/article/pii/S0015028207012162.

[367←]

Michelle J. Bayefsky, «Comparative Preimplantation Genetic Diagnosis Policy in Europe and the USA and Its Implications for Reproductive Tourism,» Reproductive Biomedicine and Society Online 3 (2016): 4147,

https://www.sciencedirect.com/scien
ce/article/pii/S2405661817300047.

[368←]

Bettina Bock von Wülfingen, «Contested Change: How Germany Came to Allow PGT,» Reproductive Biomedicine and Society Online 3 (2016): 6067, http://www.sciencedirect.com/scienc
e/article/pii/S2405661816300387.

[369←]

حتى وقت حديث، كانت ألمانيا من بين الدول ذات القوانين المتشددة في العالم لحماية حقوق الأجنّة البشرية. وهذا راجع بشكل كبير إلى المبدأ الذي أقدم عليه البلد لدفع حساب الماضي النازي القاتل. منع قانون حماية الأجنة الصادر عام 1990 إخصاب البويضات البشرية لأغراض البحث كما منع التبرّع بالأجنّة. وفي ردّ فعل على ذلك، فإنّ الأزواج في ألمانيا غالبا ما يسافرون إلى بلجيكا لإجراء عمليات مسح الجينات.....

[370←]

«Cross-Border Reproductive Care: A Committee Opinion,» Fertility and Sterility 100(2013): 645650, http://www.fertstert.org/article/S0 0150282(13)003968/fulltext.

[371←]

An active debate is ongoing about whether China is a genetic Wild West. For the affirmative argument, see: Didi Kirsten Tatlow, «A Scientific Ethical Divide Between China and West,» New York Times, June 29, 2015,

https://www.nytimes.com/2015/06/30/ science/a-scientific-ethical-divide-between-china-and-west.html. For a well-articulated opposing view, see: Douglas Sipp and Duanqing Pei, «Bioethics in China: No Wild East,» Nature 534 (2016): 465467,

https://www.nature.com/news/bioethi cs-in-china-no-wild-east-1.20116; and Ian Johnson and Cao Li, «China Experiences a Booming Underground Market in Surrogate Motherhood,» New York Times, August 2, 2014,

https://www.nytimes.com/2014/08/03/ world/asia/china-experiences-a-booming-black-market-in-child-surrogacy.html. See also Genome Editing and Human Reproduction. Report. July 17, 2018, Nuffield Council on Bioethics. http://nuffieldbioethics.org/wp -content/uploads/Genome-editing-and-human-reproduction-FINAL-website.pdf, 110111.

[372←]

Alta R. Charo, «On the Road (to a Cure?)-Stem-Cell Tourism and Lessons for Gene Editing,» New England Journal of Medicine 374 (2016): 901903, http://www.nejm.org/doi/full/10.105 6/NEJMp1600891.

[373←]

من الملفت للنظر أنّ قانون عدم التمييز الأمريكي GINA المشار إليه لا يشمل أفراد القوات المسلحة وغيرها من اشكال التأمين، مثل التأمين على الحياة. سيصبح عدم التمييز استنادا إلى الجينات أكثر أهمية، لأنّ وضع التسلسل الجيني على المستوى العالمي، سيظهر أنّ كلّ فرد لا شكّ لديه preconditions ظروف مسبقة (وراثية) من نوع ما. ستزيد هذه الظروف من مخاطر الاضطرابات المعقدة لكافة أفراد السكان.

[374←]

Mahsa Shabani and Pascal Borry, «Rules for Processing Genetic Data for Research Purposes in View of the New EU General Data Protection Regulation,» European

Journal of Human Genetics 26, no. 2 (2017): 14956, doi:10.1038/s41431-017-0045-7.

[375←]

Richard Bird, «Where Are We Now with Data Protection Law in China?» Freshfields Bruckhaus Deringer, 2017,

https://www.freshfields.com/en-us/our thinking/campaigns/digital/data/where-are-we-now-with-data-protection-law-in-china/.

[376←]

Wenxin Fan, Natasha Khan, and Liza Lin, «China Snares Innocent and Guilty Alike to Build World's Biggest DNA Database,» Wall Street Journal, December 26, 2017,

https://www.wsj.com/articles/china-snares-innocent-and-guilty-alike-to-build-worlds-biggest -dna-database-1514310353; Echo Huang, «China Is Creating a Massive 'Orwellian' DNA Database,» Quartz, May 16, 2017,

https://qz.com/984400/china-is-creating-a-massive-orwellian-dna-database-to-construct-harmonic-society/; «China: Police DNA Database Threatens Privacy,» May 15, 2017, Human Rights Watch,

https://www.hrw.org/news/2017/05/15 /china-police-dna-database-threatens-privacy. For more on repression in Xinjiang, including the Uighur population being required to submit blood samples, see «China Has Turned Xinjiang into a Police State Like No Other,» The Economist, May 31, 2018, accessed June 3, 2018,

https://www.economist.com/briefing/ 2018/05/31/china-has-turned-xinjiang-into-a-police-state-like-no-other?frsc=dg|e. In August 2019, a UN Human Rights panel announced it had received credible reports that China was holding approximately one million Uighurs in «massive internment camps.» Reuters. «U.N. Says It Has Credible Reports That China Holds Million Uighurs in Secret Camps.» New York Times, August 10, 2018, accessed August 15, 2018,

https://www.nytimes.com/reuters/201 8/08/10/world/asia/10reuters-china-rights-un.html. Not surprisingly, Beijing quickly refuted this claim. «China Has Prevented 'Great Tragedy' in Xinjiang, State-Run Paper Says,» Reuters, August 13, 2018, accessed August 15, 2018,

https://www.reuters.com/article/us-
china-rights-un/china-has-prevented-great-tragedy-in-xinjiang-state-run-paper-says-idUSKBN1KY01B?il=0. The UK Home Office was in 2018 also exploring the possibility of creating a centralized database of all the biometric data collected from UK citizens.

[377←]

Harvard psychologist Steven Pinker makes a compelling case for this point. Steven Pinker, Enlightenment Now: The Case for Reason, Science, Humanism, and Progress (London: Allen Lane, 2018).

[378←]

Because ill-informed concepts of genetics have underpinned racism, colonialism, eugenics, and discrimination for centuries, discussing genetics and particular outcomes like sports prowess is rightly sensitive. For thoughtful considerations of how tricky it can be to explore genetics and race see: David Reich, «How Genetics Is Changing Our Understanding of 'Race,'» New York Times, March 23, 2017,

https://www.nytimes.com/2018/03/23/
opinion/sunday/genetics-race.html and Siddhartha Mukherjee, The Gene: An Intimate History (London: Vintage, 2017), 341-345.

[379←]

David J. Epstein, The Sports Gene: What Makes the Perfect Athlete (London: Yellow Jersey Press, 2013). See also: A. de la Chapelle, A. L. Traskelin, and E. Juvonen, «Truncated Erythropoietin Receptor Causes Dominantly Inherited Benign Human Erythrocytosis,» Proceedings of the National Academy of Sciences 90 (1993): 4495-4499,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC46538/pdf/pnas014620175.p
df; David Epstein, «Eero Mäntyranta-Finland's Champion. 1937-2013: Obituary,» The Science of Sport, December 31, 2013, http://sportsscientists.com/2013/12
/eero-mantyranta-finlands-champion-
19372013-obituary/.

[380←]

Eynon et al., «Genes for Elite Power and Sprint Performance: ACTN3 Leads the Way.» Sports Medicine, September 2013, accessed May 1, 2018,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/23681449.

[381←]

Ross Tucker, Vincent O. Onywera, and Jordan Santos-Concejero, «Analysis of the Kenyan Distance-Running Phenomenon,» International Journal of Sports Physiology and Performance 10 (2015): 285-291,

https://www.researchgate.net/public
ation/264745551_Analysis_of_the_Ken
yan_Distance-Running_Phenomenon.

[382←]

To be clear, this success was not based on genetics alone but instead resulted from the complex interaction of genotypic, phenotypic, and socioeconomic factors. This topic is hotly debated. See Max Fisher, «Why Kenyans Make Such Great Runners: A Story of Genes and Cultures.» The Atlantic, April 17, 2012, accessed June 6, 2018,

https://www.theatlantic.com/interna
tional/archive/2012/04/why-kenyans-
make-such-great-runners-a-story-of-
genes-and-cultures/256015/; and Alex Hutchinson, «Kenyan Dominance, Real and Imagined,» Runner's World, May 25, 2018, accessed June 6, 2018,

https://www.runnersworld.com/traini
ng/a20846404/kenyan-dominance-real-
and-imagined/.

[383←]

Andrew Roos and Thomas Roos, «Genetics of Athletic Performance,» Stanford University, May 15, 2012,

https://web.stanford.edu/class/gene
210/files/projects/Gene210-Athletic
s Presentation-Roos.pdf.

[384←]

Nick Webborn et al., «Direct-to-Consumer Genetic Testing for Predicting Sports Performance and Talent Identification: Consensus Statement,» British Journal of Sports Medicine 49 (2015): 1486-1491,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/26582191.

[385←]

Ron Synovitz and Zamira Eshanova, «Uzbekistan Is Using Genetic Testing to Find Future Olympians,» The Atlantic, February 6, 2014,

https://www.theatlantic.com/interna
tional/archive/2014/02/uzbekistan-i
s-using-genetic-testing-to-find-fut
ure-olympians/283001/.

[386←]

Hoon Choi and Lvaro Choi, «When One Door Closes: The Impact of the Hagwon Curfew on the Consumption of Private Tutoring in the Republic of Korea,» SSRN Electronic Journal (2015), http://www.ub.edu/irea/working_pape
rs/2015/201526.pdf.

[387←]

Malleta, King, «Why Korean Parents Give Their Kids Plastic Surgery as Graduation Gifts,» NextShark, December 23, 2016, accessed August 9, 2018,

https://nextshark.com/why-korean-pa
rents-give-their-kids-plastic-surge
ry-as-graduation-gifts/; Wei, Will, «Why Korean Parents Are Having Their Kids Get Plastic Surgery before College.» Business Insider, November 25, 2017, accessed August 09, 2018,

https://www.businessinsider.com/eye
lid-surgery-in-south-korea-2015-11.

[388←]

Patricia Marx, «About Face,» New Yorker, March 23, 2015,

https://www.newyorker.com/magazine/
2015/03/23/about-face.

[389←]

William Wan, «In China, Parents Bribe to Get Students into Top Schools, Despite Campaign against Corruption,» Washington Post, October 7, 2013,

https://www.washingtonpost.com/worl
d/in-china-parents-bribe-to-get-stu
dents-into-top-schools-despite-camp
aign-against-corruption/2013/10/07/
fa8d9d322a61-11e3-8ade a1f23cda135e_story.html?utm_term=. c79e7e712e12.

[390←]

Kitty Bu and Maxim Duncan, «Playtime a Luxury for Competitive Chinese Kids,» Reuters, November 23, 2009,

https://www.reuters.com/article/us-
china-children-play/playtime-a-luxu
ry-for-competitive-chinese-kids-idU
STRE5AM16920091123.

[391←]

Peter Foster, «Third of Chinese Primary School Children Suffer Stress, Study Finds,» The Telegraph, January 19, 2010,

https://www.telegraph.co.uk/news/wo
rldnews/asia/china/7027377/Third-of
-Chinese-primary-school-children-su
ffer-stress-study-finds.html.

[392←]

Alvin A. Rosenfeld and Nicole Wise, The Over-Scheduled Child: Avoiding the Hyper-Parenting Trap (New York: St. Martins Griffin, 2001).

[393←]

Timothy Caulfield et al., «Marginally Scientific? Genetic Testing of Children and Adolescents for Lifestyle and Health Promotion,» Journal of Law and the Biosciences 2 (2015): 627-644,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ar
ticles/PMC5034400/.

[394←]

Antonio Regalado, «Baby Genome Sequencing for Sale in China,» MIT Technology Review, June 15, 2017,

https://www.technologyreview.com/s/
608086/baby-genome-sequencing-for-s
ale-in-china/.

[395←]

Kalokairinou et al., «Legislation of Direct-to-Consumer Genetic Testing in Europe: A Fragmented Regulatory Landscape,» Journal of Community Genetics 9 (2018): 117-132. In the United States, companies like Salesforce, OpenTable, and Snap now offer their employees free genetic screening to assess hereditary disease risk. In 2018, creative investigators set up fake consumer genetic profiles based on DNA samples found at crime scenes four decades ago to identify the genetic relatives of and ultimately catch the Golden State Killer. Clearly, consumer genetic information clearly cannot be a free-for-all. Megan Molteni, «The Creepy Genetics Behind the Golden State Killer Case,» Wired, May 4, 2018, accessed May 29, 2018,

https://www.wired.com/story/detecti
ves-cracked-the-golden-state-killer
-case-using-genetics/.

[396←]

S. Roberts et al., «Direct-to-Consumer Genetic Testing: User Motivations, Decision Making, and Perceived Utility of Results,» Public Health Genomics 20, no. 1, (January 10, 2017): 36-45, accessed May 1, 2018.

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/28068660. For a full list of references on this topic, see
http://www.genomes2people.org/wp-co
ntent/uploads/2018/01/PGen_Publicat
ions.pdf.

[397←]

Francis Fukuyama, «The End of History?» The National Interest , no. 16 (Summer 1989): 3-18, http://www.jstor.org/stable/2402718
4.

[398←]

Elsa B. Kania, Battlefield Singularity: Artificial Intelligence, Military Revolution, and China’s Future Military Power, Center for a New American Security, November 2017, 51,

https://s3.amazonaws.com/files.cnas
.org/documents/Battlefield-Singular
ity-November-2017.pdf?mtime=2017112
9235804.

[399←]

The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan, National Science and Technology Council, October 2016,

https://obamawhitehouse.archives.go
v/sites/default/files/whitehouse_fi
les/microsites/ostp/NSTC/national_a
i_rd_strategic_plan.pdf.

[400←]

Issued by the State Council New Generation Artificial Intelligence Development Planning Notice No. 35 [2017] The People's Governments of Provinces, Autonomous Regions, and Municipalities Directly under the Central Government, the Ministries and Commissions of the State Council, and the Agencies Directly under the State Council, July 8, 2017, accessed June 18, 2018,
http://www.gov.cn/zhengce/content/2
017-07/20/content_5211996.htm.

[401←]

Ma Si, «Key AI Guidelines Unveiled,» China Daily, December 15, 2017,
http://www.chinadaily.com.cn/a/2017
12/15/WS5a330a41a3108bc8c6734c64.ht
ml; Neil Connor, «Anxious Chinese Parents Cause Gene Testing Boom as They Try to Discover Young Children's Talents,» The Telegraph, February 11, 2017,
http://www.telegraph.co.uk/news/201
7/02/11/anxious-chinese-parents-fue
l-gene-testing-boom-try-discover/.

[402←]

«Chinese AI Startups Scored More Funding Than America's Last Year,» MIT Technology Review, February 14, 2018,

https://www.technologyreview.com/th
e-download/610271/chinas-ai-startup

s-scored-more-funding-than-americas
-last-year/.

[403←]
Graham Webster et al., «China's Plan to 'Lead' in AI: Purpose, Prospects, and Problems,» New America, August 1, 2017,

https://www.newamerica.org/cybersec
urity-initiative/blog/chinas-plan-l
ead-ai-purpose-prospects-and-proble
ms/.

[404←]
See Coral Davenport, «In the Trump Administration, Science Is Unwelcome. So Is Advice,» New York Times, June 9, 2018, accessed June 18, 2018,

https://www.nytimes.com/2018/06/09/ climate/trump-administration-science.html.

[405←]
Chappellet-Lanier, Tajha. «White House Announces Creation of Select Committee on Artificial Intelligence,» Fedscoop, May 10, 2018, accessed August 09, 2018,

https://www.fedscoop.com/white-hous
e-artifical-intelligence-committee-
kratsios/.

[406←]
David Cyranoski, «China's Bid to Be a DNA Superpower,» Nature 534 (2016): 462-463, http://www.nature.com/news/china-s-
bid-to-be-a-dna-superpower-1.20121.

[407←]
في محاولة لمواجهة صخب إدارة ترامب، رفض الكونگرِس طلبا لقطع تمويل مبادرات الطب الدقيق، في الحقيقة رفع ميزانية برامج تلك المبادرات خلال العام 2017.

[408←]
Susan Decker, «China Becomes One of the Top 5 U.S. Patent Recipients for the First Time,» Bloomberg News, January 9, 2018,

https://www.bloomberg.com/news/arti
cles/2018-01-09/china-enters-top-5-

of-u-s-patent-recipients-for-the-fi
rst-time.

[409←]

Reinhilde Veugelers, «China Is the World's New Science and Technology Powerhouse,» Bruegel, August 30, 2017, http://bruegel.org/2017/08/china-is
-the-worlds-new-science-and-technol
ogy-powerhouse/. Ben Guarino, Emily Rauhala, and William Wan, «China Increasingly Challenges American Dominance of Science,» Washington Post, June 3, 2018, accessed June 6, 2018,

https://www.washingtonpost.com/nati
onal/health-science/china-challenge
s-american-dominance-of-science/201
8/06/03/c1e0cfe4-48d5-11e8-827e-190
efaf1f1ee_story.html.

[410←]

Kai-Fu Lee, «China's Artificial Intelligence Revolution: Understanding Beijing's Structural Advantages,» Sinovation Ventures (December 2017),

https://www.eurasiagroup.net/files/
upload/China_Embraces_AI.pdf.

[411←]

Eleonore Pauwels and Apratim Vidyarthi, «Who Will Own the Secrets in Our Genes? A U.S.-China Race in Artificial Intelligence and Genomics,» Wilson Center, February 2017,

https://www.wilsoncenter.org/sites/
default/files/who_will_own_the_secr
ets_in_our_genes.pdf.

[412←]

For a healthy debate on this topic see: Jennifer Kulynych and Henry T. Greely, «Clinical Genomics, Big Data, and Electronic Medical Records: Reconciling Patient Rights with Research When Privacy and Science Collide,» Journal of Law and the Biosciences 4 (2017): 94-132,

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed
/28852559. See also: Eryn Brown, «Geneticist on DNA Privacy: Make It So People

Don’t Care,» Los Angeles Times, January 18, 2013,
http://articles.latimes.com/2013/ja
n/18/science/la-sci-sn-george-churc
h-dna-genome-privacy-20130118. Innovative American companies might also find a way of using blockchain and other technologies to stitch together disparate data pools while better protecting individual privacy or of convincing large numbers of informed citizens to opt in.

[413←]

iCarbonX,

https://www.icarbonx.com/.

[414←]

David Ewing Duncan, «Can AI Keep You Healthy?» MIT Technology Review, October 3, 2017,

https://www.technologyreview.com/s/
608987/how-ai-will-keep-you-healthy
/.

[415←]

Jun Wang, «How Digital DNA Could Help You Make Better Health Choices,» TED17,

https://www.ted.com/talks/jun_wang_
how_digital_dna_could_help_you_make
_better_health_choices/transcript#t
-150728.

[416←]

Jun Wang, «The Bank of Life Gene Concerning Everyone Is Now Coming,» Medium, April 25, 2016,

https://medium.com/@iAskMedia/wang-
jun-the-bank-of-life-gene-concernin
g-everyone-is-now-coming-335353aaf3
ee.

[417←]

Henny Sender, «China’s Tech Groups Are Building Too Much Power,» Financial Times, August 28, 2017,

https://www.ft.com/content/858d0312
-8988-11e7-8bb1-5ba57d47eff7.

[418←]

سيكون هذا شيئا يُشبه برامج إزالة الفايرُسات من الكومبيوتر، الذي يضع بشكل مستمر قائمة بالفايرُسات المتوقعة كي تتمّ مقاومتها.

[419←]

Tamar Lewin, «Coming to U.S. for Baby, and Womb to Carry It,» New York Times, July 5, 2014,

https://www.nytimes.com/2014/07/06/
us/foreign-couples-heading-to-america
-for-surrogate pregnancies.html?hpw&
action=click&pgtype=Homepage&version=
HpHedThumbWell&module=well-region
&region=bottom well&WT.nav=bottom-well.

[420←]

هذا شيء حدث فعلا. نشرت صحيفة نو يورك تايمز عام 2014 مقالة وصفت فيها كيف أنّ زوجين من الصين طلبا الحصول على 6 أطفال من امهات بديلات surrogates، لكي يُتاح لهما «اختيار أحد الأجنة» ووضع الآخرين لأغراض التبنّي.

[421←]

«List of Invasions,» Wikipedia, last modified July 28, 2018,

https://en.wikipedia.org/wiki/List_
of_invasions.

[422←]

Robert Farley et al., «China vs. America: 3 Ways a War in the South China Sea Could Start,» The National Interest, accessed June 24, 2018,
http://nationalinterest.org/blog/th
e-buzz/china-vs-america-3-ways-war-
the-south-china-sea-could-start-260
34.

[423←]

Rob Carlson, «Splice it Yourself,» Wired, May 1, 2005,

https://www.wired.com/2005/05 /splice-it-yourself/. HackingDarwinTP_INTs.indd 330 1/3/20 10:48 AM N o t e s 331

[424←]

Bart Kolodziejczyk, «Do-It-Yourself Biology Shows Safety Risks of an Open Innovation Movement,» Brookings Institute Techtank Blog, October 9, 2017,

https://www.brookings.edu/blog/tech
tank/2017/10/09/do-it-yourself-biol
ogy-shows-safety-risks-of-an-open -
innovation-movement/. See also: Mallory Locklear, «These Kids Are Learning CRISPR At Summer Camp,» Motherboard, July 27, 2017,

https://motherboard.vice.com/en_us /article/kzavja/these-kids-are-learning-crispr-at-summer-camp. Additional information on this topic was provided by Ray McCauley in an email to the author, November 13, 2018.

[425←]

Lisa C. Ikemoto, «DIY Bio: Hacking Life in Bioetech's Backyard,» UC Davis Law Review 51 (2017): 539-568,

https://lawreview.law.ucdavis.edu/i
ssues/51/2/Symposium/51-2 _Ikemoto.
pdf.

[426←]

See Emily Baumgaertner, «As D.I.Y. Gene Editing Gains Popularity, 'Someone Is Going to Get Hurt,'» New York Times, May 14, 2018, accessed May 31, 2018,

https://www.nytimes.com/2018/05/14/
science/biohackers-gene-editing-vir
us.html.

[427←]

Siddhartha Mukherjee, The Gene: An Intimate History (London: Vintage, 2017), 467.

[428←]

Kate Charlet, «The New Killer Pathogens: Countering the Coming Bioweapons Threat,» Foreign Affairs, May/June 2018,

https://www.foreignaffairs.com/arti
cles/2018-04-16 /new-killer-pathogens; Akshat Rathi, «This Could Be the Next

Weapon of Mass Destruction,» Quartz, November 20, 2015, accessed May 3, 2018.

https://qz.com/554337 /this-could-b
e-the-next-weapon-of-mass-destructi
on/.

[429←]

Ryan S. Noyce, Seth Lederman, and David H. Evans, «Construction of an Infectious Horsepox Virus Vaccine from Chemically Synthesized DNA Fragments,» Plos One 13, no. 1 (2018), doi:10.1371/journal.pone.0188453.

[430←]

Sharon Begley, «Why FBI and the Pentagon Are Afraid of Gene Drives,» STAT, April 19, 2018, accessed May 11, 2018,

https://www.statnews.com/2015/11/12
/gene-drive -bioterror-risk/.

[431←]

James R. Clapper, «Worldwide Threat Assessment of the U.S. Intelligence Community,» Senate Armed Services Community (February 9, 2016), 9,

https://www.dni.gov/files/documents
/SASC_Unclassified_2016_ATA_SFR_FIN
AL.pdf.

[432←]

«Global Trends: Paradox of Progress,» National Intelligence Council (January 2017),

https://www.dni.gov/files/documents
/nic/GT-Full-Report.pdf.

[433←]

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Biodefense in the Age of Synthetic Biology (Washington, DC: National Academies Press, 2018).

https://www.nap.edu/catalog/24890/b
iodefense-in-the-age-of-synthetic-b
iology, doi:10.17226/24890.

[434←]

Richard A. Clarke and R. P. Eddy, Warnings: Finding Cassandras to Stop Catastrophes (Harper Collins, 2017).

[435←]

تكشف الجهود العالمية لإبطاء تغيّرات المناخ صعوبة وضع معايير وقواعد تتعلق بهندسة الجينات البشرية. لقد تطلب الأمر من الحكومات حول العالم حقبا عديدة، كي تعترف بدور البشر في إحداث التغيرات المناخية وتهديداتها، التي ستنزل الدمار في أنظمة البيئة وستحوّل أجزاء من الكرة الأرضية إلى مناطق غير صالحة لسكنى البشر. ولكن بالرغم من الإجماع الساحق بين العلماء ومعظم قادة العالم، فإنّ التغيّر المناخي حقيقة واقعة ودور الإنسان فيها واضح وأنّه يخلق تهديدا وجوديّا لعالمنا ولأنفسِنا، ومع ذلك فقد حصل تقدّم بسيط. أقرّ ممثلو الدول المجتمعون في پاريس عام 2017 اتفاقية وقّعوها سُمّيت اتفاق پاريس نصّت على أنّه يتوجب على كلّ بلد أن يفعل ما يستطيع فعله لوضع حدّ لانبعاث غازات الدفيئة Greenhouse Gas. وحتى هذا ما كان ممكنا تحقيقه، حين تولى السلطة في الولايات المتحدة دَونلد ترامپ، الذي أمر بانسحاب أمريكا من تلك الاتفاقية.

[436←]

Amy Gutmann and Jonathan Moreno, «Keep CRISPR Safe: Regulating a Genetic Revolution,» Foreign Affairs, April 25, 2018, accessed May 3, 2018,

https://www. foreignaffairs.com/articles/2018-04-16/keep-crispr-safe.

[437←]

Some of the more important meetings have been held in Napa, California, Manchester, England, Washington, DC, and Hong Kong. «International Summit on Human Gene Editing: A Global Discussion,» National Academies Press, December 1-3, 2015,

https:// www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK34365
1/; Human Genome Editing: Science, Ethics, and Governance (Washington, DC: National Academies Press, 2017): 5, 8-9; «Statement on Genome Editing Technologies and Human Germline Genetic Modification,» The Hinxton Group, Sept 3-4, 2015, http://www.hinxtongroup.org/Hinxton
2015_Statement.pdf. HackingDarwinTP_INTs.indd 331 1/3/20 10:48 AM 332 N o t
e s

[438←]

Cited in Human Enhancement, ed. Nick Bostrom and Julian Savulescu (Oxford: Oxford University Press, 2009): 132.

[439←]

حتى شهر مارس من عام 2008، وقع 35 مندوبا من أصل 47 من أعضاء المجلس الأوروپي على وثيقة المؤتمر، ولكن صادقت عليه 29 دولة فقط. لم تصدِر أيّ من هذه الدول أيّة قوانين تخصّ تطبيقات البيان المذكور.

[440←]

Sharon Begley, «Families Hit by Inherited Diseases Oppose Ban on Embryo Editing,» STAT, April 17, 2019,

https://www.statnews.com/2019/04/17 /crispr-embryo-editing -ban-opposed-by-families-carrying-inherited-diseases/. Human genetic engineering could be the only option for parents to have a fully genetically related child if both parents are heterozygous for one or more dominant conditions or when a dominant new mutation occurs in an otherwise desirable early stage, pre-implanted embryo.

[441←]

Jamie Metzl, «Brave New World War,» Democracy 8, no. 8 (Spring 2008),

https:// democracyjournal.org/magazine/8/brave-new-world-war/.

[442←]

«UNESCO Panel of Experts Calls for Ban on 'Editing' of Human DNA to Avoid Unethical Tampering with Hereditary Traits,» UNESCO, 2015,

https://en.unesco.org/news/unesco -panel-experts-calls-ban-editing-human-dna-avoid-unethical-tampering-hereditary-traits.

[443←]

«Statement on Genome Editing Technologies,» Committee on Bioethics (2015), document DH-BIO/INF (2015) 13,

https://rm.coe.int/168049034a.

[444←]

This topic had been hotly debated since a high profile 2015 letter was published in Nature. Edward Lanphier, Fyodor Urnov, Sarah Ehlen Haecker, Michael Werner, and Joanna Smolenski, «Don't Edit the Human Germ Line,» Nature 519, no. 7544 (March 12, 2015): 410-11, accessed July 17, 2019, doi:10.1038/519410a.

[445←]

طرح إي أو ولسُن، عالم الأحياء والطبيعة في جامعة هارفرد، نقطة مشابهة حين كتب قائلا، «لقد صنعنا حضارة حرب النجوم، ولكن ما زالت مشاعرنا تنتمي إلى العصر الحجري ومؤسسات القرون الوسطى والتكنولوجيا الإلهية.» كما أشار ستِوَرت براند إلى نقطة مشابهة أيضًا حين قال، «لقد أصبحنا آلهة ويجب أن نحسن التصرّف ما دمنا كذلك».

[446←]

For the calls for a moratorium after He's announcement, see Eric S. Lander, Françoise Baylis, Feng Zhang, Emmanuelle Charpentier, Paul Berg, Catherine Bourgain, Bärbel Friedrich, J. Keith Joung, Jinsong Li, David Liu, Luigi Naldini, Jing-Bao Nie, Renzong Qiu, Bettina Schoene-Seifert, Feng Shao, Sharon Terry, Wensheng Wei, and Ernst-Ludwig Winnacker, «Adopt a Moratorium on Heritable Genome Editing,» Nature News, March 13, 2019, accessed July 17, 2019,

https://www.nature.com/articles/d41
586-019-00726-5?sf209368347=1; Eli Y. Adashi and I. Glenn Cohen, «Heritable Genome Editing: Is a Moratorium Needed?» JAMA 322, no. 2 (2019): 104, doi:10.1001/jama.2019.8977; Jamie Metzl, «Human Gene Editing Is Too Transformative to Be Guided by the Few,» Financial Times, March 27, 2019,

https:// www.ft.com/content/6ebc7f3e-4ff5-11
e9-8f44-fe4a86c48b33.

[447←]

财网.«中央深改委会议审议通过《国家科技伦理委员会组建方案》.» 第一财经_新浪财经_新浪网. July 24, 2019. Accessed August 19, 2019.

/roll/2019-07-24/doc-ihytcitm4355965.shtml.https://finance.sina.com.cn